NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER

RAPPORT NR. 1-75

VASSDRAGSDIREKTORATET HYDROLOGISK AVDELING OSLO JANUAR 1975

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER

Redigert av Arve M. Tvede

Bidragsytere: Olav Liestöl, Sigmund Messel og Arve M.Tvede

RAPPORT NR. 1-75

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JANUAR 1975

FORORD

Foreliggende rapport fra Vassdragsvesenets breundersökelser i 1973 likner tidligere rapporter i denne serie, som startet i 1965. För den tid ble Brekontorets resultater publisert på en annen måte, vesentlig i form av tidskriftsartikler.

En stor del av rapporten behandler undersökelser av massebalansen på ialt 10 breer, 7 i Sör-Norge og 3 i Nord-Norge. Norsk Polarinstitutt har bekostet undersökelsene ved 3 breer i Sör-Norge og resultater fra disse breene er også presentert i foreliggende rapport. Utgiftene for de övrige undersökelsene er bekostet dels av Statskraftverkene (som ledd i planleggingen av eventuelle framtidige kraftverk) og dels av Hydrologisk avdeling (som ledd i de generelle hydrologiske undersökelsene).

Systematiske undersökelser av de bre-hydrologiske forhold har pågått i Norge siden slutten av 1940-årene da Olav Liestöl ved Norsk Polarinstitutt begynte undersökelser ved Storbreen i Jotunheimen - en måleserie som nå er en av de lengste i verden. I 1962 begynte Hydrologisk avdeling undersökelser av bl.a. Nigardsbreen og denne måleserie gir verdifull opplysning om brevariasjoner på Vestlandet. Data fra de undersökte breene brukes bl.a. for å korrigere målt avlöp i elver fra bre-dekkede nedslagsfelt.

I löpet av de senere år har det vært drevet en del undersökelser av relasjonen mellom meteorologiske forhold og avsmelting, både ved bruk av statistikk og ved diverse feltobservasjoner. Et kapitel om slike undersökelser er tatt med i årets rapport som også har en litt mer utförlig redegjörelse for breenes bevegelseshastighet. Detaljerte resultater vises denne gang for 4 utvalgte breer.

Det framgår av innholdsfortegnelsen hvem som har skrevet de forskjellige avsnittene. Som vanlig har Bård Braskerud tegnet de fleste illustrasjonene. Agneta Hertzberg og Ellen Khan har renskrevet manuskriptet og trykkingen er utfört i Statskraftverkenes Hustrykkeri. Rapporten er også i höy grad et resultat av et omfattende feltarbeid utfört av hydrologer, teknikere og en rekke sommerassistenter. Rapporten er redigert av Arve M. Tvede som også har hatt ansvaret for å organisere arbeidet med disse undersökelsene.

Oslo i januar 1975 Allunar Catricia

Gunnar Östrem

INNHOLD

	Side
Materialhusholdningen, meteorologiske og hydrologiske	
undersökelser ved utvalgte breer (Arve M. Tvede)	3
Innledning	3
Metodikk	5
Ålfotbreen	8
Blomsterskardbreen	11
Nigardsbreen	12
Hardangerjökulen (Olav Liestöl)	18
Storbreen ""	20
Hellstugubreen	22
Gråsubreen	25
Högtuvbreen	27
Engabreen	32
Trollbergdalsbreen	39
En sammenlikning av materialhusholdningen på de	
enkelte breer	44
Glasial-meteorologiske undersökelser i 1973 (Sigmund Messel)	49
Innledning	49
Metoder og instrumenter	50
Resultater	52
Diskusjon	55
Bevegelsesmålinger på noen breer (Arve M. Tvede)	58
Innledning	58
Ålfotbreen	58
Nigardsbretunga	60
Hellstugubreen	62
Trollbergdalsbreen	63
Summary	64
Mass balance studies, meteorological and hydrological	
investigations at selected glaciers	64
Special radiation studies	68
Survey and movement studies	70

Litteratur

MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSÖKELSER VED UTVALGTE BREER

Innledning

I 1973 er det av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen foretatt glasiologiske undersökelser på 4 breer i Sör-Norge (fig. 1). Disse breene faller naturlig i 3 grupper, 1) Ålfotbreen, 2) Nigardsbreen og 3) breer i Jotunheimen.

Målingene er avsluttet på Vesledalsbreen, Tunsbergdalsbreen samt Austre og Vestre Memurubre. Alle disse breene ble bekostet av Statskraftverkenes planleggingsavdeling og har inngått som en del av forundersökelsene til utbygging av "Jotunheimen Vest".

På Ålfotbreen foretas undersökelsene på en nordvendt brearm. Denne drenerer til Store Åskåra som nå er ferdig utbygd av Sogn og Fjordane fylke. Undersökelsene her er pålagt utbyggeren ved konsesjon, og utgiftene deles likt mellom Elektrisitetsforsyninga i Sogn og Fjordane fylke og Hydrologisk avdeling. Målingene har pågått siden hösten 1962. Foruten materialbalansemålinger er det også foretatt endel spesielle meteorologiske målinger.

Arbeidene på Nigardsbreen har pågått siden 1962 og var den förste bre hvor Brekontoret utförte målinger av materialhusholdningen. Breen er spesielt interessant som hydrologisk objekt da konsesjonsöknaden for Breheimverkene forutsetter et subglasialt elveinntak under selve bretunga. Utgiftene belastes Statskraftverkenes planleggingsavdeling.

På Hardangerjökulen er materialbalansen målt på Rembesdalsskåki som drenerer til Simadalen og inngår i Eidfjord-anleggenes interesseområde. Undersökelsene, som ble igangsatt i 1963, er fra og med 1971 finansiert av Norsk Polarinstitutt.

I Jotunheimen er materialhusholdningen målt på Hellstugubreen og Gråsubreen. På begge disse breene har målingene pågått siden 1962, utgiftene belastes nå Hydrologisk avdelings budsjett og disse to breene tenkes å inngå som en del av et mer permanent program for overvåking av langsiktige volumendringer. I tillegg holder Norsk Polarinstitutt igang målinger på Storbreen i Vest-Jotunheimen.

I 1970 ble det satt igang målinger av Engabreen og Trollbergdalsbreen i Svartisområdet, Nordland fylke. Disse ble supplert med undersökelser av en utlöper fra Högtuvbreen i 1971. Undersökelsene er en del av Svartisundersökelsene hvis glasiologiske del er underlagt Brekontoret fra hösten 1972. På alle disse breene er det i tillegg utfört meteorologiske observasjoner samt registrering-

MASS BALANCE STUDIES OF NORWEGIAN GLACIERS 1973 Fig.1



29.

er av nedbörsfordelingen i brefeltet.

Tilsammen er det i 1973 foretatt målinger av materialhusholdningen på ialt 10 breer i Norge.

Metodikk

Materialhusholdningen.

Metodikken som brukes ved massebalansemålinger av norske breer er utförlig beskrevet i tidligere årsrapporter fra Hydrologisk avdeling, se f.eks. Pytte, 1969 og 1970. Arbeidsprosedyrer og måleteknikken som anvendes, bygger i hovedtrekkene på en arbeidsmanual utarbeidet av G. Östrem og A. Stanley. Interesserte henvises til denne (Östrem & Stanley, 1969).

Målingene er i 1972 fortsatt etter tidligere års prinsipper som en har funnet hensiktsmessig ved praktisk bruk. Terminologien bygger på de retningslinjer som er utarbeidet av "Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" og offentliggjort av Unesco i 1969. Betydningen av de forskjellige termer og symboler er illustrert på fig. 2.

<u>Vinterbalansen</u> måles normalt i månedene april og mai ved sondering av snödypet i flere punkter utover breflaten. Sonderingene refererer seg alltid til forrige års sommeroverflate som kan bestå av breis eller firn, alt etter hvor på breen en befinner seg. I det förste tilfellet er det normalt ingen vanskelighet å kjenne sommeroverflaten med sonden, mens det kan være vanskelig og ofte umulig å lokalisere forrige års snöoverflate, dersom denne er dårlig utviklet. I slike tilfeller er en avhengig av målinger på staker nedboret i breen.

Ved å ta opp snöpröver med et kjernebor er det også mulig å lokalisere siste sommers snöoverflate dersom denne framstår som en distinkt horisont. Dette er en meget arbeidskrevende prosess, hvis den må benyttes i mange punkter.

Snöens tetthet måles bare i noen få punkter på breen og fortrinnsvis i forskjellige höydenivåer. Den vanligste metoden er å grave seg ned til sommeroverflaten og måle volum og vekt av snödekket med en stålsylinder som slås vertikalt ned i snöen. Er snödypet over 4-5 m blir denne arbeidsmåten vanskelig å praktisere og en er nödt til å ta opp snöpröver med et kjernebor for å kunne foreta tetthetsbestemmelse.

Snöens vannverdi kan deretter bestemmes i en rekke punkter utover breoverflaten. Alle punktene plottes over på et kart og breens totale vinterbalanse (b_w) kan bestemmes ved å planimetrere dette kartet.

Som oftest vil det akkumulere endel snö på breen også etterat hovedmålingene er foretatt. Denne tilleggsakkumulasjonen kan enkelte ganger måles direkte ved



SS=time of formation of a summer surface

Fig. 2 Balansen i et punkt er vist som funksjon av tiden, og den terminologi som benyttes i det stratigrafiske system er angitt.

The balance as measured at a point is illustrated in relation to time. The terms used in the stratigraphic system are indicated in the diagram.

målestakene, men vanligvis må den beregnes ut fra nedbör og temperaturobservasjoner på meteorologiske stasjoner nær breen. I årets resultater er vinterbalansen angitt som balansen målt ved hovedmålingene dersom ikke annet er nevnt i teksten.

<u>Sommerbalansen</u> måles i utvalgte punkter på breen ved at de horisontale forandringer ved stakene registreres gjennom sommeren. Dette gjöres ved å ta paralelle målinger av stakenes lengde over breoverflaten samt av tettheten i den gjenværende snö og firn. Siste måling foretas normalt etterat neste balanseårs akkumulasjon har startet. Sommerbalansen målt ved stakene, overföres til et kart over det aktuelle breområdet og isolinjer gjennom punkter med lik sommerbalanse kan trekkes. Kartet kan så planimeterbehandles og de sökte verdier B_s og b_s beregnes. Sommerbalansen fordeler seg normalt mer regelmessig over breflaten enn vinterbalansen ved at den nesten alltid vil synke med stigende höyde. Særlig utpreget er dette på de maritime breene hvor konveksjon fra varm luft yter et vesentlig bidrag til smelteprosessen. En nöyaktig måling av sommerbalansen kan derfor basere seg på langt færre punktmålinger enn vinterbalansen.

<u>Nettobalansen</u> beregnes som den algebraiske sum av vinterbalansen og sommerbalansen ($b_n \cdot b_w + b_s$) og er positiv i det tilfellet at breen har öket sin masse i löpet av balanseåret, negativ dersom breens masse er blitt mindre. Gjennom de punkter på breen hvor nettobalansen er null kan trekkes en såkalt likevektslinje.

<u>Bearbeiding av målingene</u>. Meget av utregningsarbeidet er tidkrevende når det skal gjöres for hånd. En pröver derfor å la den maskinelle bearbeiding overta planimetreringsarbeidet i störst mulig grad. Et dataprogram utarbeidet av sivilingeniör P. Solberg er tilpasset NVE's dataanlegg. Dette programmet vil planimetrere kartene over vinter- og sommerbalansen etterat disse er ferdig tegnet og beregne de tilhörende verdier. Se nærmere beskrivelse av programmet og dets anvendelse i den glasiologiske rapporten for 1971.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Disse er stort sett foretatt etter samme mönster som forrige år, men antallet bemannete stasjoner var noe mindre sommeren 1973 enn tidligere år. Dette innebar at målinger av varmebalansen som de tre foregående sommere har vært utfört på Ålfotbreen, sommeren 1973 ble flyttet til Engabreen hvor en hadde fast bemanning hele sommersesongen. Tilsvarende målinger er også blitt foretatt på Nigardsbreen. Målingene er ment å skulle danne basis for en beregning av de forskjellige meteorologiske faktorers innflytelse på smelteprosessen, både som et gjennomsnitt for hele sommeren og i kortere perioder med forskjellige værforhold. Beregninger og presentasjon av materialet er utfört av cand. real. S. Messel og finnes på s.49 i denne rapport.

Ellers er registreringer av skydekket, vindretning og styrke, lufttemperaturen, fuktighet og nedbör foretatt etter omtrent det samme mönster som tidligere år (se Pytte, 1970). Sommernedbörens fordeling er også forsökt registrert i noen brefelter ved måling av regnmengder oppsamlet i et större eller mindre antall "Pluvius"-målere. Hyppige perioder med snöfall gjorde imidlertid disse målingene mindre vellykket sommeren 1973.

Avlöpet fra de breer hvor en har faste observatörer blir registrert med limnigrafer eller vandstandsobservasjoner. Dögnavlöpet er beregnet og satt inn i observasjonsdiagrammene sammen med de tilhörende meteorologiske observasjoner. Alle observasjonsdiagrammer er også iår tegnet maskinelt med kurveplotteren på NVE's dataanlegg. Programmet som utförer plottingen, er utarbeidet av statshydrolog J. Andersen og metoden er arbeidssparende selv om endel ettertegning alltid vil være nödvendig for publikasjonsöyemed.

Ålfotbreen

Materialhusholdningen

<u>Vinterbalansen.</u> Akkumulasjonsesongen startet i midten av oktober. 28. november var det allerede kommet fra 2 til 3,5 m nysnö og det var stor akkumulasjon også resten av vintersesongen. 15. februar var bare 2 staker synlig og 5 nye staker ble satt ut. Snödypet var på dette tidspunkt öket til 6-7 meter. Årets vinterbalanse ble målt 6.-9. april under gunstige værforhold. Til tross for snödyp fra 7,5 til 11 meter, var det mulig å sondere over hele breen og sonderingene kunne kontrolleres ved eksisterende staker samt ved kjerneboring til sommeroverflaten fra 1972. I alt ble det tatt 128 sonderinger langs 13 km sonderingsprofiler. Snöens fordelingsmönster er vist i fig. 4. Som tidligere år fant en den störste snöakkumulasjonen i et belte nedenfor toppunktet samt i le av ryggen fra stake 15 til 19. Endel akkumulasjon kom også i mai og under en ny kontroll av stakene 10.-12. juni falt det fra 20 til 60 cm nysnö. Det hadde likevel vært flere perioder med ablasjon mellom 9. april og 10. juni og årets vinterbalanse er beregnet på basis av målinger fra förstnevnte dato.

Vinterbalansen var totalt 22,4 \cdot 10⁶m³, eller 4,67 m (147 l/s km²). Dette er 0,12 m höyere spesifikk verdi enn hva som tidligere er målt på Ålfotbreen







Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Ålfotbreen 1973.

> The location of stakes, pits and soundings on Ålfotbreen 1973.



(fra 1. juni 1968) og fölgelig den störste vinterbalanse som til nå er målt på noen bre i Norge.

<u>Sommerbalansen.</u> Som nevnt var det kraftige snöfall rundt 10. juni, men etter den tid dominerte ablasjonen fram til slutten av august. Stakene ble ettersett 30. juni, 28. juli, 23. august og 19. september. Ved siste ablasjonsmåling, 20. november, var det kommet 1, 5-2 meter nysnö. Ablasjonen siden 19. september varierte fra 10 til 50 cm. Sommerbalansen utgjorde 11, $9 \cdot 10^6 \text{m}^3$ eller 2, 49 m (79 1/s km²) spesifikt fordelt.

<u>Nettobalansen.</u> De store snömengdene förte til langsommere smelting enn hva en normalt vil få med samme værforhold i sommersesongen. Dette skyldes at breen var snödekket hele sommeren, ingen is eller firn var synlig og albedoen holdt seg fölgelig höyere enn hva den normalt vil gjöre. Overskuddet i materialhusholdningen belöp seg til $10, 4 \cdot 10^6 \text{m}^3$, dette tilsvarer et vannlag på 2,18 m jevnt fordelt over breflaten (68 1/s km²). Årets likevektslinje lå lavere enn breen, se fig. 5.

Meteorologiske observasjoner

Det var ikke stasjonert faste observatörer på Ålfotbreen sommeren 1973 og det var fölgelig ikke mulig å gjennomföre et liknende meteorologisk program som tidligere år.



Fig. 5 Variasjonene med höyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

Winter, summer and net balances in relation to elevation. Glacier area and areal values of net balance for every 50 m height interval are illustrated.

Höyde	Areal	Vinterbalanse			Sor	nmerba	lanse	Nettobalanse			
intervall	S	B		b	В		b	B		b	
m o.h.	km ²	10^{6m} m ³	m	$l/s \text{ km}^2$	$10^{6} {m}^{3}$	m	$l/s \text{ km}^2$	$10^{6^{11}}$ m	m	$\frac{1}{l/s}$ km ²	
1250 1200	0.245	1 10(4 0.0	154	0.300	1 (2	51	0.700	2 25	1.0.2	
1350-1380	0,245	1,196	4,88	154	0,398	1,63	51	0,198	5,25	105	
1300-1350	1,015	5,035	4,96	157	1,846	1,82	57	3,189	3,16	100	
1250-1300	0,811	3,874	4,78	151	1,811	2,23	70	2,063	2,55	81	
1200-1250	0,765	3,600	4,71	149	1,898	2,48	78	1,702	2,23	70	
1150-1200	0,649	2,952	4,54	143	1,799	2,77	87	1,153	1,77	56	
1100-1150	0,553	2,477	4,48	141	1,681	3,04	96	0,796	1,44	45	
1050-1100	0,356	1,564	4,39	139	1,117	3,14	99	0,447	1,25	39	
1000-1050	0,216	0,916	4,2 4	134	0,717	3,32	105	0,199	0,90	28	
950 - 1000	0,125	0,518	4,14	131	0,455	3,64	115	0,063	0,50	16	
900- 950	0,047	0,207	4,40	139	0,172	3,66	116	0,035	0,74	23	
870- 900	0,004	0,019	4,75	150	0,016	3,88	123	0,003	0,87	27	
870-1380	4,786	22,358	4,67	147	11,910	2,49	79	10,448	2,18	68	

ÅLFOTBREEN 1973

Termografen og pluviografen gikk derimot som forrige sommer med månedlig ettersyn og fungerte tilfredstillende, enkelte brudd forekom likevel for pluviografens del. Dögnlige verdier for nedbör og middeltemperatur er presentert i fig. 6.

<u>Temperaturforhold.</u> Termografen var i drift fra 8. juni til 11. september med avbrudd for 16. og 17. august. Middeltemperaturen for juni (8. -30.) var 4, 5^oC, juli 8, 1^oC, august 6, 3^oC og 1. -11. september 4, 5^oC. Middelverdien for hele perioden ble 6, 3^oC. Negativ dögnmiddeltemperatur forekom 11. og 14. juni, laveste verdi hadde 11. (-1, 5^oC) mens 7. juli var varmeste dögn med 13, 4^oC. Temperaturgradienten mellom Ålfotbreen (910 m o.h.) og Förde i Sunnfjord ble 0, 94^oC/100 m i juni, 0, 95^oC/100 m i juli, 0, 68^oC/100 m i august og gjennomsnittlig 0, 79^oC/100 m.

<u>Vindstyrke.</u> Anemometeret ble avlest ved hvert besök på breen og middelvindstyrken mellom hver avlesning er beregnet. For perioden 30. juni-24. september var gjennomsnittlig vindstyrke 5, 9 m/s mens verdiene mellom hver månedlig avlesning varierte fra 4, 8 m/s til 8, 2 m/s.

<u>Nedbörsforhold.</u> Utenom pluviografen var også en standardnedbörsmåler montert ved observasjonshytta. Pluviografen sviktet i perioden 7.-24. august, med ved å sammenlikne med akkumulert nedbörsmengde i standardnedbörsmåleren kan også den totale nedbör i bruddperioden beregnes. Utenom perioden 10.-15. juni hvor det meste av nedbören kom som snö, kan nedbör i fast form ved observasjonshytta bare ha forekommet enkelte dager i august. Fra 9.-30. juni falt det 124 mm, i juli 123 mm, i august 353 mm og fra 1.-13. september 289 mm. Totalt falt det i perioden 9. juni-12. september 888 mm nedbör ved ob-



ÅLFOTBREEN 1973



The results of the daily meteorological and hydrological observations at Ålfotbreen.

servasjonshytta. På nedbörstasjonen Davik II falt det i tilsvarende periode 631 mm. Dögnlige nedbörsverdier er presentert i fig. 6, höyeste dögnverdi ble registrert 2. september med 80 mm regn.

<u>Avrenning.</u> Limnigrafen i Breelva (VM 1775) ga dårlige observasjoner og det er fölgelig ikke mulig å gjöre tilfredstillende beregninger over avrenningen fra breen denne sommeren.

Blomsterskardbreen

Som beskrevet i forrige årsrapport bekostes målingene på denne breen nå av Norsk Polarinstitutt. Breen som drenerer et 45,7 km² stort felt på Folgefonnis sörside, ligger i et av Norges nedbörrikeste områder. Normal årsnedbör ved breens likevektslinje er beregnet til ca. 4500 mm (Tvede, 1972). Bare Ålfotbremassivet har större årsnedbör. Blomsterskardbreen er derfor et viktig punkt i et regionale bilde som beskriver brefluktuasjoner i Sör-Norge. Målingene utföres ved at nettobalansen registreres på et begrenset utvalg staker nær breens normale likevektslinje en gang om hösten. En nettobalansekurve konstrueres så på grunnlag av årets punktmålinger samt ved å sammenlikne med nettobalansekurvenes gradienter tidligere år. Se ellers forrige årsrapport for en nærmere omtale av beregningsprosedyren.

Målingene i 1973 ble utfört 4. oktober. Bare to av fjorårets staker ble funnet, resten var ikke smeltet fram i löpet av sommeren. Årets likevektslinje kunne observeres direkte og lå 1180 m o.h. Utenom de to originale stakene ble også to nye staker satt ut mellom 1400 og 1450 m o.h.

Nettobalansen var, som for alle breer på Vestlandet, sterkt positiv. Totalt ble $72 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann holdt tilbake fra vassdraget nedenfor breen, dette tilsvarer 1,57 m vann jevnt fordelt over hele breflaten eller 50 l/s km² utjevnet over hele året.

Nigardsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalansen. Hösten 1972 var preget av spesielt dårlig værforhold med stor nedbör på Vestlandet. Av denne grunn fikk en ikke inspisert stakene på



Fig. 7 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Nigardsbreen 1973.
The location of stakes, pits and soundings on Nigardsbreen 1973.



Fig. 8 Helikopterfrakt av utstyr til stasjonen på Hauganose 5. januar 1973.

Helicopter is used to bring supplies to the station near Nigardsbreen, 1630 m a. s.l. (January 5, 1973).



Fig. 9 Kart som viser vinterbalansen på Nigardsbreen 1973. Map showing the winter balance 1973.

Nigardsbreen för 12. januar. Bare stake nr. 50 og 109 ble da funnet, det resterende stakenett var allerede nedsnödd. Vinterbalansen ble målt 3. -9. mai og de to stakene som var synlig i januar ble gjenfunnet.

Snödypet ble bestemt ved sondering og kjerneboring, men det var vanskelig å utföre målingene med önskelig nöyaktighet, p.g.a. store snömengder og en relativt dårlig definert sommeroverflate fra hösten 1972. En del av fjorårets staker smeltet fram utover sommeren og snödyp bestemt ved sondering i mai kunne da kontrolleres mot verdier basert på stakeavlesninger. Også vinterbalansen på bretunga ble målt i begynnelsen av mai. Bretunga var snöbar opp til ca. 450 m o.h., men snödypet öket forholdsvis raskt opp til 800 m o.h.

Vinterbalansen er beregnet til å utgjöre 112, $1 \cdot 10^6 \text{m}^3$ eller 2, 40 m (76 l/s km²) jevnt fordelt over breen.

<u>Sommerbalansen.</u> Stakene ble avlest förste gang i sommersesongen 22. juni og smeltingen siden 2. mai hadde vært fra 50 til 80 cm. Utover sommeren ble stakene kontrollert ca. hver 7. dag og siste avlesning ble foretatt 16. september. Som ellers i Sör-Norge, var det relativt stor ablasjon fra slutten av juni og ut



Fig. 10 Variasjonene med höyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

The diagram illustrates winter, summer and net balances in relation to elevation, the area distribution and the areal net balance in every 50 m height interval.

Höyde	Areal	Vinterbalanse			So	mmerba	lanse	Nettobalanse		
intervall	S	B	b		В	b		B b		b
m o.h.	km ²	$10^{6} m^{3}$	m	$l/s \text{ km}^2$	$10^{6} {\rm m}^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6^{11}}{m}^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$
1900-1960	0,12	0,38	3.25	103	0.05	0.38	12	0.33	2.87	91
1800-1900	3,78	12,12	3,21	101	1,59	0,42	13	10,53	2,79	88
1700-1800	9,31	27,89	3,00	95	5,31	0,57	18	22,58	2,43	77
1600-1700	12,48	35,44	2,84	90	9,98	0,80	25	25,46	2,04	65
1500-1600	9,34	19,42	2,08	66	10,56	1,13	36	8,86	0,95	30
1400-1500	5,42	9,38	1,73	55	8,14	1,50	47	1,24	0,23	7
1300-1400	2,27	3,22	1,42	45	4,34	1,91	60	-1,12	-0,49	- 15
1200-1300	0,72	0,99	1,38	44	1,73	2,41	76	-0,74	-1,03	- 33
1100-1200	0,32	0,44	1,38	44	0,92	2,88	91	-0,48	- 1,50	- 47
1000-1100	0,54	0,73	1,38	44	1,86	3,45	109	-1,13	-2,07	- 65
900-1000	0,42	0,58	1,38	44	1,73	4,11	130	-1,15	- 2,73	- 86
800- 900	0,46	0,58	1,26	40	2,26	4,90	155	-1,68	-3,64	-115
700- 800	0,33	0,37	1,13	36	1,91	5,80	183	- 1,54	- 4,67	-147
600- 700	0,42	0,37	0,88	28	2,91	6,93	219	-2,54	-6,05	-191
500 - 600	0,30	0,14	0,48	15	2,53	8,42	266	-2,39	-7,94	-251
400- 500	0,20	0,02	0,12	4	2,15	10,75	340	-2,13	- 10,63	-336
300- 400	0,18	0,00	0,00	0	2,50	13,90	439	- 2,50	-13,90	-439
300-1960	46,61	112,07	2,40	76	60,47	1,30	41	51,60	1,10	35

NIGARDSBREEN 1973

hele juli. I perioden 5.-10. august falt det nysnö ned til ca. 1300 m o. h. og selv om det var perioder med ablasjon seinere i august smeltet nysnöen ikke bort fra nivåer over 1700 m o. h. For staker over dette nivået sluttet fölgelig ablasjonsesongen allerede 4. august. Også i periodene 19.-25. august og 1.-4. september var det noe nedbör som snö på breplatået, men ved minimumsmålingene, 16. september, var nysnöen smeltet igjen lavere enn 1600 m o. h. På breens höyere deler lå det da fra 40 til 60 cm nysnö.

På bretunga smeltet endel av wirene som ble nedboret i juli 1972, etterhvert ut av isen og ablasjonen måtte måles på erstatningstaker deler av sommeren. 13 nye wire ble smelteboret i begynnelsen av september, 3 av disse kunne settes i borehull som ble smeltet ned til overgangen bre/fjell under Statskraftverkenes arbeid med å kartlegge bunntopografien under Nigardsbretunga. Disse wirene ble plassert i nivået 700-750 m o.h. og en benyttet 100 meters lengder i hvert hull. Dette ble gjort for å unngå brudd på wirene forårsaket av brebevegelsen som en antar vil avta raskt nær bunnen av breen. Med en årlig nettobalanse på ca. -7 m is i dette höydenivået, kan en anta at disse wirene ikke vil være utsmeltet för om 10-15 år.

Sommerbalansen utgjorde for hele breen 60, $5 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann, jevnt fordelt 1,30 m (41 l/s km²).

<u>Nettobalansen.</u> Materialhusholdningen ble markert positiv idet $51, 6 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann ble holdt tilbake som snö på breen. Spesifikt fordelt blir dette 1,10 m (35 l/s km^2) . En må tilbake til 1967 for å finne et större overskudd og utenom dette året kan bare 1962 framvise mere positiv nettobalanse. Likevektslinjen ble liggende 1410 m o.h. eller 150 m lavere enn i et år med balanse i materialhusholdningen.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Stasjonen på Hauganosi (1630 m o.h.) var bemannet fra 23. juni til 6. september. Observasjonsprogrammet var i hovedsak det samme som foregående sommer. Resultatene er også benyttet til å beregne varmebalansen for dette höydenivået på Nigardsbreen. Se eget avsnitt om dette s. 49

<u>Sky- og vindforhold.</u> Skydekket var i juli gjennomsnittlig 6,3, i august 8,5 og for hele observasjonsperioden (69 dögn) 7,2. Helt klart var det bare 2 dager mens 26 dager var helt overskyet eller er notert med tett tåke. Höyeste vindstyrke, beregnet som dögnmiddel, ble målt 20.august til 11,8 m/s mens laveste verdi, 1,0 m/s, forekom 26.august. Gjennomsnittet for 73 observasjonsdögn ble 5,2 m/s.

<u>Temperaturforhold.</u> Foruten temperaturregistreringer på Hauganosi og breplatået (Bur B, 1840 m o.h.) har en også sammenliknet temperaturforholdene med tilsvarende data fra brefronten (320 m o.h.) Björkehaug (324 m o.h.) og Fanaräken (2060 m o.h.).

På Hauganosi var middeltemperaturen for hele observasjonsperioden (75 dögn) 3,9°C hvorav juli hadde 5,9°C og august 2,4°C. Negativ dögnmiddeltemperatur forekom ikke för 7.august, mens resten av observasjonsesongen hadde 13 dögn med middeltemperatur under frysepunktet. Ved Bur B var det hele 22 dager med negativ dögnmiddeltemperatur i perioden 5.august - 5. september og middeltemperaturen for denne måneden ble -0,5°C. Höyeste dögnverdi på Hauganosi ble målt 16.august til 10,5°C og laveste -3,8°C forekom 21.august. Tilsvarende ekstremalverdier fra Bur B var 7,2°C (15.juli) og -5,2°C (21.august).

Temperaturgradienten mellom de forskjellige stasjoner er beregnet som tidligere år. Mellom Björkehaug og Hauganosi var gradienten for juli, august og hele observasjonsperioden h.h.v. 0,74°C/100 m, 0,69°C/100 m og 0,72°C/100 m. Gradienten mellom Hauganosi og Fanaråken er svakere og på enkelte dager endog negativ. Temperaturforskjellen mellom termografen ved brefronten og klimastasjonen Björkehaug i samme höydenivå, var gjennomsnittlig 3,2°C og forårsakes i det alt vesentlige av brevind.

NIGARDSBREEN 1973



Fig. 11 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Nigardsbreen og beregnet dögnavlöp ved limnigrafen i Nigardsvatnet.

The diagram illustrates the daily meteorological observations on Nigardsbreen and computed daily discharge at the stream gauge in Nigardsvatnet. <u>Nedbörsforhold</u>. Totalt oppfanget normalnedbörsmåleren på Hauganosi 305 mm fra 22. juni til 6. september. Av dette kom 110 mm i juli, 133 mm i august og 59 mm i september. I samme periode falt det 285 mm på Björkehaug. På dager hvor nedbören kom som snö viste både "Pluviusmåleren" og pluviografen lavere nedbörsverdier enn normalmåleren, på dager med regn er det ubetydelig forskjell mellom de tre nedbörsmålerne.

Da störstedelen av sommerens nedbör falt som snö på de höyeste deler av breplatået, var det bare et par korte regnperioder i juli hvor nedbörsmålingene ble sammenliknbare over hele breplatået. Regnmengdene var imidlertid såvidt små at det ikke er grunnlag for utarbeidelse av nedbörsfordelingskart.

Luftfuktighet. Midlere vanndamptrykk for hele observasjonsperioden ble 7,0 mb. Månedsmidlet for juli og august ble h.h.v. 7,8 mb og 6,2 mb. 5 dager i august hadde positiv dögnmiddeltemperatur og samtidig vanndamptrykk lavere enn 6,1 mb.

<u>Avrenning</u> Fra 1. juli til 16. september passerte 155, $9 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann forbi limnigrafen ved utlöpet av Nigardsvatn. Störste dögnavlöp, 3, $8 \cdot 10^6 \text{m}^3$, forekom 8. juli mens midlere dögnverdi for hele sesongen ble 1, $45 \cdot 10^6 \text{m}^3$. Den markante forskjellen i værforhold mellom juli og august gjenspeiles også i avrenningen som sank fra 75, $7 \cdot 10^6 \text{m}^3$ i juli til 43, $7 \cdot 10^6 \text{m}^3$ i august. Utenom målesesongen passerte 33, $5 \cdot 10^6 \text{m}^3$ limnigrafen. Totalt årsavlöp ble fölgelig 189, $4 \cdot 10^6 \text{m}^3$ (94 l/s km²). Legges Nigardsbreens nettobalanse til dette tall ville avrenningen öke til 241, $0 \cdot 10^6 \text{m}^3$ som blir det brekorrigerte avlöp fra Nigardsvatn i 1973.

Hardangerjökulen

Materialhusholdningen.

Da vinterbalansen ble målt i begynnelsen av mai var bare 2 staker synlig. Nye staker ble satt ut som erstatning for de nedsnödde stakene og flere kjerneboringer ble utfört for å undersöke snödyp og tetthet i snölaget. Harde islag og store snödyp gjorde at normal sondering til sommerflaten ble vanskelig å utföre. Som på alle breer i Vest-Norge, var vinterbalansen over det normale og relativt större enn på Storbreen. Sommerbalansen var omtrent som antatt normalt (1,79 m), men p.g.a. den store vinterbalansen som var 50% over antatt normalverdi, ble resultatet en positiv nettobalanse på 0,83 m spesifikk verdi. Se ellers fig. 12, fig. 13 og tabellen nedenfor.



Fig. 12

Kartet viser vinterbalansen 1973.

Map showing winter balance 1973.

Fig. 13

Diagrammet viser variasjonene av akkumulasjonen, ablasjonen og netto-balansen med höyden over havet.

The diagram illustrates the variations of accumulation, ablation and net balance with height above sea level.



Höyde	Areal	v	Vinterbalanse			mmerbal	anse	Nettobalanse			
intervall	S	B	b		B	b		B	B b		
m o.h.	km ²	$10^{6.3}$ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6^{-3}}$	m	$1/s \text{ km}^2$	10^{6m} m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	
1850-1900	0.070	0.142	2 00	63	0.078	1 1 2	3.5	0.064	0 00	29	
1800-1850	3 375	8 775	2,00	82	3 983	1,12	37	4 792	1 42	45	
1750 1800	3 866	11 404	2 95	02	5 142	1,10	12	4 262	1, 12	5	
1700-1750	3 910	11,404	2,75	75 02	5 926	1,55	42	5 6 2 0	1,02	45	
1450 1700	2 0 9 4	5 721	2,75	72 97	2 405	1,47		2,030	1,44	40	
1650-1700	2,004	2,751	2,75	07	3,605	1,75	22	2,126	1,02	32	
1600-1650	0,936	2,358	2,52	80	1,797	1,92	61	0,561	0,60	19	
1550-1600	0,640	1,459	2,28	72	1,389	2,17	68	0,070	0,11	4	
1500-1550	0,542	1,165	2,15	68	1,328	2,45	77	-0,163	-0,30	- 10	
1450-1500	0,319	0,606	1,90	60	0,887	2,78	88	-0,281	-0,88	- 28	
1400-1450	0,196	0,327	1,67	53	0,615	3,14	99	-0,288	-1,47	- 46	
1350-1400	0,112	0,172	1,54	49	0,429	3,52	111	-0,257	-1,98	- 63	
1300-1350	0,084	0,123	1,47	46	0,329	3,92	124	-0,206	-2,45	- 77	
1250-1300	0,270	0,389	1,44	45	1,234	4,57	144	-0,845	-3,13	- 99	
1200-1250	0,315	0,410	1,30	41	1,581	5,02	158	-1,171	-3,72	-117	
1150-1200	0,321	0,404	1,26	40	1,749	5,45	172	-1,345	-4,19	-132	
1100-1150	0,115	0,140	1,22	39	0,678	5,90	186	-0,538	-4,68	-148	
1050-1100	0,022	0,026	1,20	38	0,140	6,35	200	-0,114	-5,15	-163	
1050-1900	17,180	45,087	2,62	83	30,790	1,79	56	14,297	0,83	26	

HARDANGERJÖKULEN 1973

Storbreen

Materialhusholdningen

I mesteparten av akkumulasjonsesongen kom nedbören med vinder fra vestlig kant. Ökningen i snömengde fra öst mot vest var derfor mye större enn normalt, se fig. 40. Den vestligste og mest maritime bre, Ålfotbreen, fikk ca. 50% höyere vinterbalanse enn normalt mens Gråsubreen som er den mest kontinentalt pregete av de undersökte breer, hadde 10% lavere vinterbalanse enn normalt. Storbreen har en beliggenhet nesten på hovedvasskillet mellom Öst- og Vestlandet, men nedbören kommer vesentlig fra vest. Vinterbalansen dette året var derfor litt over normalen. Temperaturen var höyere enn vanlig den förste halvdel av sommeren, men kraftige snöfall i midten av august resulterte i markert mindre ablasjon resten av sommersesongen. Resultatet ble en svak positiv nettobalanse lik 0,08 m spesifikk verdi. Se fig. 14

Materialhusholdningen 1949-73

Diagrammet i fig. 15 viser massebalanseresultater fra Storbreen i de 25 år som er gått siden målingene startet i 1949. 10 år har hatt positiv nettobalanse mens 15 år har hatt negative verdier. De fleste positive verdier er små, 3 av dem ligger innen usikkerhetsgrensene. Resultatet blir fölgelig et stort tap for hele breen, 7,46 m vann er samlet underskudd regnet som spesifikk verdi,



Fig. 14

Variasjonene med höyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalansen på Storbreen i 1972-73.

Variations in winter, summer and net balances of Storbreen in relation to the elevation during 1972-73.

dette tilsvarer igjen 8,30 m is. 4 år hadde et underskudd på mer enn 1,00 m, det störste er fra 1968-69 da underskuddet var 1,42 m.

Fig. 16 viser at det totale brevolum öket i perioden mellom 1963 og 1968. Dette ble også observert ved triangulering av stakene i samme tidsrom. Ökningen fant sted bare på breens övre halvdel og volumökningen var ikke stor nok til å produsere en kinematisk bölge som kunne nå brefronten. I löpet av sommeren



Fig. 15. Vinter-, sommer-, og nettobalansens årlige variasjoner siden målingene startet i 1948-49. Skraverte söyler betegner nettobalansen.

Variations in mass balance of Storbreen in the 25 years since measurements were started in 1948-49. Shaded areas represent net balance.



Fig. 16

Kumulativ nettobalanse på Storbreen for perioden 1949-73, i g/cm².

Cumulative net balance of Storbreen 1949-73, in g/cm^2 .

1968 forsvant den sörligste lille nunatakken som hadde vært synlig siden 1955, men den dukket fram igjen 2 år seinere.

Brefronten har vært i stadig tilbakegang siden 1928 da den siste "push-endemorenen" ble dannet. Da höyden på den övre delen av Storbreen har vært nesten konstant eller har endog öket i perioder, så har massetapet vært konsentrert til den nederste delen. I 1970 dukket en fjellrygg fram av isen, ca. 200 m ovenfor fronten, og breen er nå praktisk talt död nedenfor dette fjellpartiet.

Diagrammet fig. 15 viser at de årlige variasjoner i ablasjonsverdiene er större enn variasjonen for akkumulasjonstallene. Standardavviket for ablasjonen er 43,5 cm mens tilsvarende verdi for akkumulasjonen er 29,1 cm. Ablasjonen forårsakes i det alt vesentlige av stråling, konveksjon og kondensasjon. De to sistnevnte faktorer er igjen for en stor del bestemt av lufttemperaturen og en god korrelasjon mellom stråling og lufttemperatur er også observert. Ut fra slike sammenhenger er det absolutt grunn til å tro at en god sammenheng eksisterer også mellom ablasjon og temperatur. Konklusjonen blir at variasjonene i sommertemperaturen er den faktor som mest påvirker den årlige nettobalanse på Storbreen. I et mer maritimt klima vil derimot variasjoner i årlig snöakkumulasjon være en mer betydningsfull faktor da de absolutte variasjoner i vinternedbören er större mens temperaturvariasjonene er omtrent de samme på alle breene.

Hellstugubreen

Materialhusholdningen

Vinterbalansen. Ved et besök på breen 8. desember 1972 var det kommet fra 1 til 1,5 m nysnö. Vinterbalansen ble målt 22. mai, det falt snö på hele breen under målingene og noen merkbar ablasjon hadde ennå ikke forekommet. 119 sonderinger ble tatt langs 13 km profillengde, se fig. 17 og snöens tetthet ble





HELLSTUGUBREEN 1973

Winter balance in cm of water equivalent



Fig. 18 Kart som viser vinterbalansen 1973.

Map of the winter balance 1973.

målt ved st. 46-68. Snöens fordelingsmönster var meget likt det en har funnet tidligere år og mengdene varierte fra under 1 m nederst på bretunga til nærmere 4 m under botnveggene.

Vinterbalansen utgjorde 4,0 \cdot 10⁶m³ vann som tilsvarer 1,20 eller 38 l/s km² jevnt fordelt over breflaten.

<u>Sommerbalansen.</u> Stakene ble avlest 4. juli, 1. august, 15. august og siste gang 2. oktober. Sterkest ablasjon var det i slutten av juni og i hele juli mens august var preget av kaldt vær og nedbör som snö på breen. Ablasjonen etter 15. august var ubetydelig over 1800 metersnivået.

Sommerbalansen er beregnet til å utgjöre 4,7 \cdot 10⁶m³ eller 1,41 m spesifikk vannverdi (44 l/s km²).



Fig. 19 Det meste av Hellstugubreens årlige snöoverskudd samles i og like nedenfor de to botnene til höyre på bildet, mens botnen til venstre drenerer vesentlig mot Vestre Memurubre. Hellstugutindan i bakgrunnen, ca. 2340 m o.h. Fotograferingsdato 4. juli 1973.

> The most important net accumulation on Hellstugubreen is found in and just below the cirques shown in the photo, except for the cirque to the left which mainly drains to Vestre Memurubre. The peaks in the background are named Hellstugutindan at approx. 2340 m a. s. l. Date of photo: July 4th, 1973.



Fig. 20

Variasjonene av vinter-, sommerog netto-balansen med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

Winter, summer and net balances in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

<u>Nettobalansen.</u> Sommerbalansen var $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ större enn vinterbalansen og fölgelig ble nettobalansen negativ tilsvarende dette vannvolumet. Jevnt fordelt over breen er dette et vannlag med tykkelse 0,21 m. Ekstra tilsig til Hellstuguåi ble 6 l/s fra hver km² breflate. Likevektslinjen for 1973 ble liggende 1880 m o.h., se ellers tabellen nedenfor og fig. 20.

Höyde	Areal	Vi	Vinterbalanse			nmerbal	lanse	Nettobalanse		
intervall	S	Bw	b _w		Вs	bs		B _n	bn	
m o.h.	4 km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	106m3	m	$1/s \text{ km}^2$	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$
2150-2200	0,021	0,036	1,72	54	0,013	0,63	20	0,023	1,09	34
2100-2150	0,088	0,148	1,68	53	0,057	0,65	21	0,091	1,03	33
2050-2100	0,306	0,395	1,29	41	0,255	0,83	26	.0,140	0,46	15
2000-2050	0,165	0,232	1,41	45	0,165	1,00	32	0,067	0,41	13
1950-2000	0,372	0,498	1,34	42	0,372	1,00	32	0,126	0,34	11
1900-1950	0,605	0,781	1,29	41	0,648	1,07	34	0,133	0,22	7
1850-1900	0,369	0,445	1,21	38	0,465	1,26	40	-0,020	-0,05	- 2
1800-1850	0,348	0,428	1,23	39	0,511	1,47	46	-0,083	-0,24	- 8
1750-1800	0,149	0,137	0,92	29	0,237	1,59	50	-0,100	-0,67	-21
1700-1750	0,146	0,196	1,34	42	0,270	1,85	58	-0,074	- 0,51	-16
1650-1700	0,213	0,271	1,27	40	0,417	1,96	62	-0,146	-0,69	-22
1600-1650	0,182	0,203	1,11	35	0,393	2,16	68	-0,190	-1,05	-33
1550-1600	0,196	0,147	0,75	24	0,467	2,38	75	-0,320	-1,37	-43
1500-1550	0,110	0,032	0,29	9	0,285	2,59	82	-0,253	-2,30	-73
1450-1500	0,045	0,011	0,25	8	0,131	2,90	92	-0,120	-2,65	-84
1450-2200	3,315	3,960	1,20	38	4,686	1,41	44	-0,726	-0,21	- 6

HELLSTUGUBREEN 1973

Gråsubreen

Materialhusholdningen

<u>Vinterbalansen</u>. Breen ble ikke besökt i vintersesongen för vinterbalansen ble målt 29. mai. Det hadde vært temperaturer over frysepunktet en kortere periode för målingene ble utfört, men ved graving gjennom snölaget ved st. 14 kunne en konstatere at snöen fremdeles var frosset under en meters dyp. Noen avrenning fra breen kunne derfor ikke ha forekommet til dette tidspunkt. 14 staker ble funnet under målingene og 106 sonderinger ble tatt langs 10 km profillengde. Snödyp over 1,5 m ble bare funnet i gunstige lokaliteter under botnvegger og nær fjellkammer.

Vinterbalansen utgjorde 1,8 \cdot 10⁶m³ vann, 0,72 m eller 23 l/s km² spesifikt fordelt.

<u>Sommerbalansen.</u> Stakene ble ettersett 5. juli, 31. juli, 15. august og siste gang 4. oktober. Ved siste besök var det kommet nysnö over hele breen. Det varme været i juli medförte stor ablasjon i alle höydenivåer og ved månedskiftet juli/august viste bare st. 6-67 positiv balanse. Fölgelig ble is og firn tidlig blottlagt over store deler av breflaten og strålingen fikk ekstra sterk virkning p.g.a. raskt synkende albedo. Ablasjon forårsaket av stråling regnes å utgjöre nær 70% av total ablasjon på Gråsubreen. Den solrike forsommeren förte fölgelig til relativt större ablasjon på Gråsubreen enn på breene lenger vest hvor



The location of stakes, pits and sounding profiles.

Map of the winter balance 1973.

smelting forårsaket av stråling betyr mindre og vintersnöen dekket breoverflaten lenger utover sommeren.

Sommerbalansen ble såvidt stor som $4, 1 \cdot 10^{6} \text{m}^{3}$ eller 1, 61 m jevnt fordelt (51 l/s km²).

<u>Nettobalansen.</u> Underskuddet i materialhusholdnigen belöp seg til 2,3 \cdot 10⁶m³ vann. Dette betyr en senkning av breflaten tilsvarende 0,89 m eller en ekstra



Fig. 23 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

> Winter, summer and net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

Höyde	Areal	Vinterbalanse			Sor	nmerbal	anse	Nettobalanse		
intervall	S	Bw	b,	N	Bs]	^b s	Bn		b _n
m o.h.	4 km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	106m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$
2250-2260	0.031	0,025	0,82	26	0.035	1.13	36	-0,010	-0.31	-10
2200-2250	0,180	0,130	0,72	23	0,215	1,19	38	- 0,085	-0,47	-15
2150-2200	0,307	0,206	0,67	21	0,398	1,30	41	-0,192	-0,63	-20
2100-2150	0,383	0,238	0,62	20	0,565	1,48	47	-0,327	-0,86	-27
2050-2100	0,410	0,275	0,67	21	0,652	1,59	50	-0,377	-0,92	-29
2000-2050	0,471	0,334	0,71	22	0,818	1,74	55	-0,484	-1,03	-33
1950-2000	0,464	0,366	0,79	25	0,843	1,82	57	-0,477	- 1,03	-33
1900-1950	0,216	0,190	0,88	28	0,404	1,87	59	-0,214	-0,99	-31
1850-1900	0,063	0,054	0,88	28	0,134	2,13	67	-0,080	-1,15	-36
1850-2260	2,525	1,818	0,72	23	4,064	1,61	51	-2,246	-0,89	-28

GRÅSUBREEN 1973

avrenning lik 28 l/s km². Likevektslinjen ble liggende litt over breens höyeste deler og er ekstrapolert til 2290 m o.h. For en nærmere analyse av Gråsubreens volumendring sammenliknet med tilsvarende forhold lenger vest i Sör-Norge i perioden 1962-73, se Tvede (1974 b).

Högtuvbreen

Materialhusholdningen

<u>Vinterbalansen.</u> I löpet av vintersesongen ble Högtuvbreen besökt 3. -4. desember samt 10. mars. I desember varierte snödypet på breen fra 1,5 m nederst til ca. 3 m i de övre områdene, 10 staker ble funnet og forlenget. I mars ble bare en stake (nr. 10-71) gjenfunnet, mens to nye staker ble satt ut. Snömengdene var öket til mellom 3 og 7 m. Vinterbalansemålingene ble utfört fra 4. -7. mai og 185 sonderinger ble foretatt etter et fordelingsmönster vist i fig. 24. I tillegg til stakenettet fra forrige sommer ble det også satt ut to nye staker i det nordlige firnområdet, nr. 103-73 og 107-73. Snödypet varierte fra 5,5 m helt nederst på breen til 11 m i enkelte lokaliteter på det nordlige firnområdet, men tiltross for store snödyp var det mulig å sondere med rimelig nöyaktighet over hele breen. Fordelingsmönsteret er relativt komplisert på Högtuvbreen, se fig. 25, de störste snömengdene samler seg litt nedenfor breens toppunkt. Vinterbalansen belöp seg til 10,09 $\cdot 10^6 \text{m}^3$ vann, 3,90 m eller 124 l/s km² spesifikt fordelt.

Sommerbalansen. Fra 26. juni og ut resten av sommersesongen ble stakene målt ca. hver 7. dag. Ablasjonen var relativ stor i juli, men som ellers i Svartisområdet var august kald med hyppige snöfall på breens övre deler. Av fjorårets staker smeltet alle på rekken fra nr. 10 til nr. 110 fram i löpet av



Position of stakes, pits and sounding profiles



 Fig. 24 Beliggenheten av staker, snösjakter og sonderingsprofiler på Högtuvbreen.
The location of stakes, pits and sounding profiles on Högtuvbreen.

sommeren. Siste stakekontroll ble foretatt 7. november og hele breen var da dekket av nysnö.

Sommerbalansen som kunne beregnes på alle staker, viser en utpreget höydeavhengighet, men med en noe sterkere ökning mot breens laveste deler hvor vintersnöen smeltet bort i löpet av sommeren. Totalt utgjorde sommerbalansen 7, 27 \cdot 10⁶m³ vann, spesifikt fordelt 2, 82 m eller 90 l/s km².

<u>Nettobalansen</u>. Ialt ble 2, 82 \cdot 10⁶m³ vann holdt tilbake fra vassdraget nedenfor Högtuvbreen, dette tilsvarer et vannlag på 1,09 m tykkelse (35 l/s km²). Likevektslinjen ble liggende 720 m o.h.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Stasjonen var bemannet fra 23. juni til 1. september. Dögnlige verdier for temperatur, nedbör, vindstyrke og skydekke ble observert ved hytta foran brefronten. Resultatene er presentert i fig. 28 sammen med vannföringen forbi limnigrafen nedenfor breen.

HØGTUVBREEN 1973

Winter balance in cm of water equivalent



Fig. 25 Vinterbalansens fordeling på Högtuvbreen 1973. Distribution of the winter balance on Högtuvbreen 1973.



Fig. 26 Utsikt fra Högtuvbreen mot nord, 14. juli 1973. Glomdalen som deler Östre og Vestre Svartisen, sees noe til höyre for midten av bildet.

View from Högtuvbreen to the North, taken on July 14, 1973. The valley of Glomdalen divides the eastern and western part of the Svartisen ice-cap and can be seen on the right side of the photo.



Fig. 27 Variasjonene med höyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

The diagram illustrates winter, summer and net balances in relation to elevation, the area distribution and the areal net balance in every 50 m height interval.

Höyde	Areal	Vi	nterbal	anse	Sommerbalanse			Nettobalanse			
intervall	S 2	B 6 ^W 3		b W 2	B 6 ^s 3		b s 2	$B_{2^{n}2}$	b		
mo.h.	km ²	10°m [°]	m	1/s km ²	10°m	m	l/s km ²	10°m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	
1150-1170	0,103	0,475	4,61	146	0,218	2,12	67	0,257	2,50	79	
1100-1150	0,220	0,937	4,26	135	0,522	2,37	75	0,415	1,88	60	
1050-1100	0,207	0,940	4,55	144	0,505	2,44	78	0,435	2,11	67	
1000-1050	0,238	0,974	4,10	130	0,594	2,50	79	0,380	1,60	51	
950 - 1000	0,310	1,342	4,33	137	0,747	2,42	77	0,595	1,91	60	
900- 950	0,305	1,233	4,05	128	0,781	2,56	82	0,452	1,49	47	
850 - 900	0,320	1,214	3,80	120	0,864	2,70	86	0,350	1,10	35	
800- 850	0,177	0,755	4,27	135	0,486	2,75	88	0,269	1,52	48	
750- 800	0,158	0,606	3,84	122	0,474	3,00	95	0,132	0,84	27	
700- 750	0,160	0,577	3,61	115	0,554	3,46	110	0,023	0,15	5	
650- 700	0,220	0,635	2,88	92	0,856	3,89	123	-0,221	-1,01	-31	
588- 650	0,165	û,403	2,45	78	0,672	4,06	129	-0,269	-1,61	-51	
588-1170	2.583	10,091	3,90	124	7,273	2,82	90	2,818	1,09	35	

Н	Õ	G	Т	U	V	В	R	Е	Е	Ν	1973
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

<u>Sky- og vindforhold.</u> Midlere skydekke for hele perioden ble 7,1 med månedsverdiene 5,7 i juli og 8,7 i august. 2 dager er notert som helt skyfrie, 22 var halvskyet eller klarere mens 28 dager var helt overskyet eller hadde tett tåke.

Vindstyrken kom opp i 11,6 m/s som dögnmiddel 1. august mens 3. august er notert med laveste dögnverdi, 0,9 m/s. Midlere vindstyrke for hele måleperiod-



HØGTUVBREEN 1973

Fig. 28 Resultatene av de meteorologiske observasjonene ved observasjonshytta samt beregnet dögnavlöp i breelva.

The daily meteorological observations and computed daily discharge in the glacier river.

en ble 4,4 m/s, juli hadde 3,7 m/s og august 5,3 m/s. Vindretningen er helt dominert av den öst-vestgående dalen breen ligger i.

<u>Temperaturforhold.</u> Termografen ved observasjonshytta viste som gjennomsnitt for hele sommersesongen 7,5°C med månedsverdiene 9,2°C i juli og 5,8°C i august. Laveste dögnverdi ble målt til 1,8°C (21.august) og höyeste til 15,1°C (17.august). Temperaturgradienten mellom klimastasjonen Nerdal i Rana og Högtuvbreen er beregnet til 0,98°C/100 m i juli, 0,78°C/100 m i august og 0,88°C/100m som gjennomsnitt for hele måleperioden. Et enkelt dögn (17. august) var gradienten svakt negativ, noe som må indikere en sterk inversjon i området denne dagen.

<u>Nedbörsforhold.</u> Ved observasjonshytta ble det registrert tilsammen 614 mm nedbör i observasjonsperioden, av dette kom hele 493 mm i august. På stasjonen Nerdal i Rana, 25 km söröst for Högtuvbreen, falt det i samme tidsrom 309 mm. Nedbör som sludd og snö forekom ved observasjonshytta bare noen få dager fra 20. til 25. august, men temperaturen kom aldri under frysepunktet og snöen var fölgelig såpass våt at "Pluviusen" antas å gi riktige verdier også disse dagene. På selve breen, i nivåene over ca. 900 m o.h., må derimot en stor del av nedbören i august ha falt som snö. Flere målere var plassert ved forskjellige lokaliteter på breen og fjellet rundt, men all nedbören som snö gjorde at avlesningene ble for usikre til å kunne bearbeides videre. En god del målere var også fulle för de ble tömt, oftest p.g.a. at dårlig sikt hindret observatörene i å finne målerne i tide.

<u>Avrenning.</u> Elvelöpet var fremdeles snödekket da observatörene kom til stedet, men det varme været den förste perioden fjernet raskt det meste av snöen. De store vannföringene som ble målt 30. juni og 1. juli, kan likevel delvis skyldes is- og snöoppstuving ved limnigrafen. Störste avlöp utenom disse to dagene forekom 14. august da det ble registrert ialt 0, 74 \cdot 10⁶m³. Ellers var totalavlöpet under hele observasjonsperioden 24, 5 \cdot 10⁶m³, hvilket gir 0, 35 \cdot 10⁶m³ som midlere dögnverdi. Dette tilsvarer igjen en vannföring lik 4, 1 m³/sek.

Engabreen

Materialhusholdningen

<u>Vinterbalanse.</u> Etter en kontroll av stakene 21.-22. oktober ble breen igjen besökt i slutten av februar. Snöforholdene var meget vanskelige og bare noen få stakeposisjoner kunne inspiseres ved det siste besöket. Alle disse stakene var for svunnet og det er grunn til å anta at det samme var tilfellet også med resten av stakenettet. Nedbören var langt over normalen under hele vintersesongen og

ENGABREEN 1973

Position of stakes, pits and sounding profiles



Meteorologisk Institutts kart over akkumulert nedbör fram til 1. mai 1973, antydet 165% av normalverdiene for 1200 m nivået. Vinterbalansemålingene ble utfört 12. -22. mai under vekslende værforhold. De store snödypene gjorde at vanlig sondering bare kunne utföres med rimelig sikkerhet for nivåer lavere enn fjorårets likevektslinje, ca. 1150 m o.h. Endel sonderinger ble også foretatt innover breplatået, men grunnlaget for vinterbalansekartet, fig. 30, måtte her vesentlig baseres på kjerneboringer ved stakeposisjonene. En del kjerneboringer ble også foretatt i löpet av sommeren, slik at vinterbalansen skulle være godt bestemt ved samtlige staker. De störste, sikkert bestemte snömengder, ble funnet i le av ryggen som begrenser Engabreen mot sör og var fra 12 til 13 meter. Så store snödyp er tidligere ikke blitt målt på norske breer. Da vinterbalansemålingene ble utfört såvidt seint, var all vintersnö smeltet bort fra bretunga lavere enn ca. 350 m o.h. og kartet over vinterbalansen viser derfor verdien 0 nedenfor dette nivået.

Totalt belöp vinterbalansen seg til 166, $1 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann, jevnt fordelt tilsvarer dette 4,37 m eller 138 1/s km².





Fig. 31 For å markere en dårlig utviklet sommeroverflate bedre, spres fargepulver utover snöen i et avgrenset felt ved sommersesongens slutt. Denne flaten kan så lokaliseres ved kjerneboring eller sjaktgraving påfölgende vår. Fra Engabreen 2. september 1973.

The summer season 1973 produced a poor summer crust because of frequent summer snowfalls. On Engabreen, coloured dust was spread on the snow surface at certain stakes to provide a reference horizon used at the snow accumulation measurements.

ENGABREEN 1973
Sommerbalansen. Ved förste stakekontroll i sommersesongen, 23. juni, hadde smeltingen vært fra 40 til 100 cm siden slutten av mai. Utover sommeren ble stakene avlest ca. hver 7. dag. Ablasjonen var relativt stor fra slutten av juni og ut juli, men overgangen juli/august markerte også et skille til kaldere vær og nedbör som snö. Ablasjonen var svært liten i august og 16. august kunne settes som sluttdato for sommersesongen i nivået over 1000 m. Ved siste stakeavlesning 31. august var det kommet fra 40 til 80 cm nysnö. En ny kontroll av stakene 8. desember viste at ingen ablasjon hadde funnet sted etter 16. august. På bretunga ble 12 nye målewire smeltet ned ca. 15 meter i begynnelsen av september.

De store snömengdene medförte at bare 6 av fjorårets staker smeltet fram i löpet av sommeren, alle befant seg lavere enn 1150 m o.h. Opptil 1 m setning av snölaget kunne registreres og en måtte justere for dette i beregningen av sommerbalansen. Den korte sommersesongen medförte at sommerbalansen bare utgjorde 62, $7 \cdot 10^6 \text{m}^3$, noe som tilsvarer et vannlag på 1,65 m tykkelse eller 52 l/s km².



ENGABREEN 1973

Fig. 32 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

Höyde	Areal	Vinterbalanse			Sor	nmerbala	anse	Nettobalanse			
intervall	S	B	1	о W	В		b	В		b	
m o.h.	4 km ²	$10^{6'''_{m}3}$	m	$l/s \text{ km}^2$	10^{6}m^{3}	m	$l/s \text{ km}^2$	10^{6m} 3	m	$l/s \text{ km}^2$	
1500-1594	0,124	0,651	5,25	166	0,171	1,38	44	0,480	3,87	122	
1400-1500	2,508	14,667	5,85	185	2,936	1,17	37	11,731	4,68	148	
1300-1400	9,348	53,243	5,70	180	10,245	1,10	35	42,998	4,60	145	
1200-1300	8,548	38,705	4,53	143	12,401	1,45	46	26,304	3,08	97	
1100-1200	7,600	29,722	3,91	123	12,004	1,58	50	17,718	2,33	73	
1000-1100	4,662	16,900	3,63	115	8,551	1,83	58	8,349	1,80	57	
900-1000	2,460	7,801	3,17	100	5,679	2,31	73	2,122	0,86	27	
800- 900	0,940	2,412	2,57	81	2,418	2,57	81	-0,006	0,06	- 2	
700- 800	0,500	1,067	2,13	67	1,522	3,04	96	- 0,455	-0,91	- 29	
600- 700	0,370	0,574	1,55	49	1,295	3,50	110	-0,721	-1,95	- 61	
500- 600	0,270	0,258	0,96	30	1,215	4,50	142	-0,957	-3,54	-112	
400- 500	0,210	0,079	0,38	12	1,091	5,20	164	-1,012	-4,82	-152	
300- 400	0,165	0,019	0,12	4	1,008	6,11	193	-0,989	-5,99	-189	
200- 300	0,220	0	0	0	1,478	6,72	212	-1,478	6,72	-212	
80-200	0,095	0	0	0	0,712	7,49	236	-0,712	7,49	-236	
80-1594	38,020	166,098	4,37	138	62,726	1,65	52	103,372	2,72	86	

ENGABREEN 1973

<u>Nettobalansen.</u> Den höye vinterbalansen og relativt lave sommerbalansen förte til et rekordstort overskudd i materialhusholdningen. $103, 4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann ble holdt tilbake fra vassdraget nedenfor breen, dette tilsvarer 63% av total vinternedbör på Engabreen. Overskuddet tilsvarer et vannlag lik 2,72 m jevnt fordelt over hele breflaten eller 86 l/s km². Likevektslinjen ble liggende 830 m o.h. Se ellers tabellen ovenfor og fig. 32.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Ved övre hytte, 880 m o.h., ble nedbör, temperatur, vindstyrke og vindretning, relativ fuktighet, skydekke og sikt observert to ganger daglig. Et utvalg observasjonsresultater er vist i fig. 33. Stasjonen var i drift fra 18. juni til 2. september. I löpet av sommeren ble også et instrumenthus montert på et breskjær i breens firnområde, 1361 m o.h., ca. 1,5 km nordvest for Snötind. En termograf var plassert i instrumenthytta fra 21. juni og ut sommersesongen. Også en pluviograf ble montert på skjæret, men registreringene ble upålitelige p.g.a. den höye andel av sommernedbören som kom som snö. Ved observasjonshytta nær Engavatn ble temperatur, nedbör og skydekke observert fra 1. juni til 15. september.

<u>Sky- og vindforhold.</u> Midlere skydekke i hele observasjonsperioden ble 7,4. Juni (18.-30.) hadde 6,9,juli 6,3 og august 8,5. 4 dager i juli var helt skyfrie, 18 dager var halvskyet eller klarere mens 28 dager hadde tett skydekke eller tåke. Ved Engavatn ble det notert omtrent samme skytetthet og middelverdien for perioden 1. juni-15. september var 7,8.

ENGABREEN 1973



Fig. 33 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene samt beregnet dögnavlöp ved utlöpet av Engavatn.

The daily meteorological observations and computed daily discharge at Engabreen. Vindstyrken varierte mellom 11, 7m/s (4. august) og 1, 2 m/s (28. juli) beregnet som dögnmiddel. 4 dager i august ble avlesningene såpass upålitelige, p.g.a. nedising av instrumentet, at dögnlige middelverdier ikke kunne beregnes. Midlere vindstyrke for hele sommeren ble 5, 2 m/s og det var liten variasjon mellom månedsmidlene.

<u>Temperaturforhold.</u> Ved övre hytte var middeltemperaturen 7,2°C for hele observasjonsperioden, dette er 0,9°C lavere enn foregående sommer. Juli hadde 9,3°C og august 4,8°C som månedsmiddeltemperatur mens varmeste, h.h.v. kaldeste dag, var 7. juli med 14,0°C og 24. august med -0,2°C. Termografen på breplatået, benevnt "termograf 1361", fungerte tilfredstillende i juni og juli, men under uværsperiodene i august blåste instrumenthuset stadig fullt av snö og avlesningene ble for usikre til å kunne gi noenlunde pålitelige resultater.

Temperaturgradienten mellom de forskjellige observasjonstedene i området er beregnet i tabellen nedenfor.

	Höyde differens m	Juni 1830.	Juli	August	18/6-2/9
Glomfjord/övre hytte	840	0,80	0,76	0,76	0,77
Engavatn/övre hytte	870	0,63	0,58	0,65	0,63
Glomfjord/termograf 1361	1320	0,76	0,66		
Övre hytte/termograf 1361	1350	0,75	0,48		

Temperaturgradienter ^OC pr. 100m

Forskjellen i temperaturgradient mellom Glomfjord/övre hytte og Engavatn/ övre hytte var i likhet med forrige sommer 0,14°C pr.100 m og er omtrent konstant gjennom hele sommersesongen.

<u>Nedbörsforhold.</u> Utenom måleren ved observasjonshytta var det plassert ialt 13 "Pluviuser" rundt om på breplatået samt en pluviograf på "Skjær 1361" fra 10. juli. Perioden 18. juni - 31. juli var relativt nedbörsfattig med totalt 133 mm oppfanget ved övre hytte. 111 mm ble i samme periode målt i Glomfjord. I denne perioden kom all nedbör som regn, også på breplatået. I august kom som tidligere nevnt, mesteparten av nedbören som snö over 1000 m o.h. Også ved övre hytte falt det snö enkelte dager i perioden 20. -27. august og den 21. og 23. har en ikke kunnet angi nedbörsmengden da "Pluviusen" ga tvilsomme verdier. Utenom disse dagene falt det i august totalt 502 mm ved övre hytte, 316 mm i Glomfjord og 328 mm ved Engavatn.

٦

Et par perioder i juli med nedbör som regn, kunne skilles ut også for målerne på breplatået, men nedbörsmengdene var såpass små at en ikke kunne gjöre tilfredstillende beregninger over fordelingsmönsteret.

<u>Luftfuktighet.</u> Vanndamptrykket var 9,5 mb i juli, 8,0 mb i august og 8,6 mb for hele observasjonsperioden. Bare to dager var det samtidig middeltemperaturer over 0° C og vanndamptrykk lavere enn 6,1 mb. Fordunstningen fra breoverflaten må fölgelig ha vært helt ubetydelig også denne sommeren.

<u>Avrenning.</u> Totalt avlöp for perioden 1. juni - 15. september var $149 \cdot 10^6 \text{m}^3$ fra Engavatn. Dette er $57 \cdot 10^6 \text{m}^3$ mindre enn for tilsvarende periode i 1972, til tross for markert större nedbör både vinteren og sommeren 1973. Årsaken ligger opplagt i Engabreens store overskudd i materialhusholdningen siste år. Total årsnedbör på Engabreen fra 15. september 1972 til 15. september 1973 må ha vært ca. 5700 mm eller 140% av antatt normal årsnedbör. 5700 mm nedbör ville gitt 217 $\cdot 10^6 \text{m}^3$ avrenning fra selve breen, i tillegg kommer avrenning fra 11 km² brefritt dreneringsfelt. Det er beregnet at uten Engabreens innvirkning ville avlöpet fra Engavatn i 1973 vært ca. 260 $\cdot 10^6 \text{m}^3$ eller 75% höyere enn hva som virkelig ble observert.

Trollbergdalsbreen

Materialhusholdningen

<u>Vinterbalansen.</u> Breen ble ikke besökt för vinterbalansemålingene ble utfört 26. -29. mai. Alle fjorårets staker var da nedsnödd og 11 erstatningstaker ble satt ut. P.g.a. forrige sommers store avsmelting var sondering mulig over hele breflaten og ialt ble 140 snödyp bestemt på denne måten. Snömengdene var adskillig större enn hva som tidligere er målt på Trollbergdalsbreen og varierte vesentlig mellom 4,5 og 8 meter.

Vinterbalansekartet, fig. 35, er noe endret i forhold til tidligere år ved at en ikke lenger har regnet arealer over 1300 m o.h. å tilhöre bremassen. Det "brepartiet" som tidligere er blitt avtegnet opp under Skjelåtind, har vist seg å bestå av mer eller mindre sammenhengende snöfelter, se også fig. 36. Trollbergdalsbreens dreneringsområde er som fölge av dette, redusert med 0,192 km². Vinterbalansen belöp seg til 5,8 \cdot 10⁶m³ eller 3,19 m (101 l/s km²) spesifikt fordelt.

Sommerbalansen. Förste stakeavlesning i sommersesongen ble foretatt 17. juni og ellers ble stakene kontrollert ialt 12 ganger för siste avlesning ble utfört 18. oktober. Værforholdene var tilnærmet de samme som er beskrevet for

TROLLBERGDALSBREEN 1973

Position of stakes, pits and sounding profiles





34 Beliggenhet av staker, sjakter og Fig. 35 Fig. sonderingsprofiler.

> The location of stakes, pits and sounding profiles.

Kart som viser vinterbalansen 1973. Map showing the winter balance 1973.



36 Trollbergdalsbreens övre dreneringsgrense er stiplet inn på bildet. Fig. Området ovenfor dreneringsgrensen, opp mot Skjelåtind, er tidligere blitt regnet med til Trollbergdalsbreens akkumulasjonsområde, men består vesentlig av permanente snöfonner.

> The upper limit of the Trollbergdalsbreen drainage area is marked with the dotted line. Some areas above this line have earlier been considered as part of the glacier's accumulation area but they evidently consist of more or less permanent snowfields.

TROLLBERGDALSBREEN 1973 Winter balance in cm of water equivalent

Engabreen og Högtuvbreen og med liten ablasjon etter 1. august. Sommerbalansen utgjorde 4,4 \cdot 10⁶m³ vann eller 2,43 m jevnt fordelt over breflaten (77 l/s km²).

<u>Nettobalansen.</u> Breis var ved sommerens slutt synlig bare i enkelte mindre flekker. Ingen höydeintervaller hadde negativ nettobalanse og årets likevektslinje må derfor regnes å ligge lavere enn hele breen. Totalt ble nettooverskuddet $1, 4 \cdot 10^6 \text{m}^3$ eller 0,76 m (24 l/s km²) jevnt fordelt. 1973 ble fölgelig det förste året siden 1970 som kan fremvise positiv nettobalanse også for Trollbergdalsbreen.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Stasjonen var bemannet fra 16. juni til 2. september, ialt 79 observasjonsdögn. De meteorologiske observasjonene som blir utfört ved observasjonshytta 960 m o.h., ble utvidet i forhold til tidligere sommere ved at også en hygrograf var i drift. Endel utvalgte observasjoner er presentert i fig. 38.

<u>Sky- og vindobservasjoner</u>. Midlere skydekke i juni (16.-30.) var 7,3, i juli 7,2 og i august 8,9. For hele observasjonsperioden ble middeltallet 7,9. Ingen dager er notert som helt skyfrie, 16 dager var halvskyet eller klarere mens hele 38 dager ble notert med helt skydekket himmel eller tåke.



TROLLBERGDALSBREEN 1973

Fig. 37 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

Höyde	Areal	Vinterbalanse			So	Sommerbalanse			Nettobalanse		
intervall m o.h.	S km ²	$10^{6} \text{w}{}^{3}$	m	b w 1/s km ²	$\frac{B}{10^{6}m^{3}}$	m	$\frac{b_s}{l/s km^2}$	$\frac{B}{10^6 m^3}$	m	${\stackrel{ ext{b}}{\stackrel{ ext{n}}{\mid l ext{s km}}}^2}$	
1250-1300	0,005	0,019	3,75	118	0,011	2,13	67	0,008	1,62	51	
1200-1250	0,080	0,292	3,65	115	0,170	2,13	67	0,122	1,52	48	
1150-1200	0,173	0,636	3,68	116	0,372	2,15	68	0,264	1,53	48	
1100-1150	0,128	0,475	3,71	117	0,285	2,23	70	0,190	1,48	47	
1050-1100	0,556	1,738	3,12	99	1,278	2,30	73	0,460	0,82	26	
1000-1050	0,615	1,752	2,86	90	1,562	2,54	80	0,190	0,32	10	
950-1000	0,199	0,654	3,28	104	0,551	2,77	87	0,103	0,51	16	
900- 950	0,063	0,231	3,67	116	0,197	3,13	99	0,034	0,54	17	
900-1300	1,819	5,797	3,19	101	4,426	2,43	77	1,371	0,76	24	

TROLLBERGDALSBREEN 1973

Vindstyrken varierte som dögnmiddelverdi mellom 0,7 m/s (29.august) og 12,7 m/s (22.august), middelverdien for hele måleperioden ble 4,2 m/s. August hadde vesentlig höyere vindstyrker enn de andre månedene.

<u>Temperaturforhold.</u> Middeltemperaturen for juni (16.-30.), juli, august og hele observasjonsperioden ble h.h.v. $8,1^{\circ}C, 10,3^{\circ}C, 4,5^{\circ}C$ og $7,5^{\circ}C$. Höyeste dögnverdi ble målt 7. juli til 17,6°C mens 24. august var kaldeste dögn med -0,6°C. 5 dögn i august hadde dögnmiddeltemperaturer under frysepunktet. Temperaturgradienten mellom Glomfjord og Trollbergdalsbreen ble $0,59^{\circ}C/$ 100 m i juli og $0,74^{\circ}C/100$ m i august. Dette er noe lavere enn tilsvarende verdier mellom Glomfjord og övre hytte på Engabreen, forskjellen skyldes sannsynligvis brevindens fravær på Trollbergdalsbreen i motsetning til Engabreen hvor brevind kan påvirke termografen endel.

<u>Nedbörsforhold.</u> Ialt 8 nedbörsmålere av typen "Pluvius" var plassert på eller like ved breen hele sommersesongen. Målerne ble tömt forholdsvis regelmessig og for to nedbörsperioder kan det utarbeides kart over nedbörsfordelingen på breen, se fig. 39. Utenom disse to periodene falt det bare små nedbörsmengder eller så kom nedbören som snö, det sistnevnte gjaldt særlig perioden 15. august -1. september. Nedbörsfordelingen viser ellers en relativt entydig höydeavhengighet. Ved brefronten falt det summert for de to periodene 108 mm mens den höyestliggende måleren samtidig oppfanget 170 mm. Middelnedbören for hele breflaten er beregnet til 141 mm og forholdstallet middelnedbör/nedbör målt ved observasjonshytta ble 1,13.

Ved observasjonshytta falt det fra 16. juni til 2. september totalt 364 mm nedbör. Av dette kom 116 mm i juli og 238 mm i august. I perioden 20. -26. august falt nedbören som snö ved observasjonshytta og de observerte verdier kan derfor være noe underestimert disse dagene p.g.a. "Pluviusens" dårlige oppfangingsevne.



Fig. 38 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene samt beregnet dögnavlöp i breelva.

The daily meteorological observations and computed daily discharge in the glacier river.

43

1

Precipitation measurements

Fig. 39 Beliggenheten av nedbörsmålere på Trollbergdalsbreen sommeren 1973 samt registrerte nedbörshöyder i 2 perioder.

> The location of precipitation gauges on Trollbergdalsbreen in the summer season 1973, and the observed precipitation during two periods.

Luftfuktighet Midlere vanndamptrykk for hele observasjonsperioden ble 8,5 mb med månedsverdiene 9,6 mb i juli og 7,7 mb i august. Bare en dag (16. juni) hadde en vanndamptrykk lavere enn 6,1 mb og samtidig positiv dögnmiddeltemperatur mens resten av sommersesongen ikke synes å ha gitt muligheter for sublimasjon fra breoverflaten.

<u>Avrenning.</u> Elvelöpet og vannmerket nedenfor brefronten var helt dekket av snö de förste 10 dagene av observasjonsperioden. Fra 25. juni har en derimot relativt pålitelige vannföringsdata. Ialt passerte $5, 9 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann forbi vannmerket, av dette kom $3, 2 \cdot 10^6 \text{m}^3$ i juli og $2, 1 \cdot 10^6 \text{m}^3$ i august. Sommerens störste dögnvassföring forekom 15. august i forbindelse med stor nedbör samtidig med relativ höy temperatur og vindstyrke.

En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer

Antallet undersökte breer er i 1973 redusert fra 14 til 10 i forhold til foregående år, se nærmere omtale under innledningskapitellet. Den geografiske fordeling av de gjenværende måleområder er likevel såvidt god at det regionale oversiktsbildet kan holdes inntakt. De 4 breområdene som nå er falt bort, hadde alle relativt korte observasjonserier og har også av den grunn mindre interesse enn de resterende breer i Sör-Norge hvor observasjonseriene er noe lengre. I Svartisområdet opprettholdes de samme breundersökelsene som foregående år.

Resultatene fra alle de undersökte breer presenteres samlet i tabellen nedenfor. I fig. 41 er de samme dataene presentert visuelt for måleområdene i Sör-Norge mens fig. 42 viser nettobalansekurvenes beliggenhet sammenstilt i ett diagram.

	Areal	Vinterbalanse		Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts-	
	S	В	b	w	Bs		b _s	B _n		b _n	linje
	km ²	$106m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	10^{6}m^{3}	m	$l/s km^2$	m o.h.
Ålfotbreen	4,79	22,36	4,67	147	11, 91	2,49	79	10,45	2,18	68	< 870
Blomsterskardbreen	45,72							71,65	1,57	49	1180
Nigardsbreen	46,40	112,07	2,40	76	60,47	1,30	41	51,60	1,10	35	1410
Hardangerjökulen	17,79	45,09	2,62	83	30,79	1,79	56	14,30	0,83	26	1570
Storbreen	5,40	7,99	1,48	47	7,56	1,40	44	0,43	0,08	3	1705
Hellstugubreen	3,32	3,96	1,20	38	4,67	1,41	44	- 0,71	-0,21	- 6	1880
Gråsubreen	2,53	1,82	0,72	23	4,06	1,61	51	- 2,25	-0,89	-28	2290
Högtuvbreen	2,58	10,09	3,90	124	7,27	2,82	90	2,82	1,09	35	720
Engabreen	38,02	166,10	4,37	138	62,73	1,65	52	103,37	2,72	86	840
Trollbergdalsbreen	1,82	5,80	3,19	101	4,43	2,43	77	1,37	0,76	24	< 900

Fig. 40

Et utsnitt av "Kart over nedbör i snöakkumuleringsesongen, nivå 1200 m o.h.", utgitt av Meteorologisk Institutt. Kartet viser akkumulert nedbör fra 11. oktober 1972 til 1. mai 1973 i prosent av normalnedbören i samme periode.

A part of a "snow accumulation map" calculated for 1200 meter elevation, giving the computed snow accumulation 1972-73 in percent of "normal" precipitation. 1973 var et uvanlig år på flere måter. Hele vintersesongen ble dominert av lavtrykksdannelser fra vestlig kant og nedbören langs Vestlandet og Nordlandskysten var rekordstor. Da vinterbalansen skulle måles i april og mai, viste det seg at snömengdene på de vestligste breene var större enn en tidligere noen gang hadde registrert. Målingene ble derfor både vanskelig og tidkrevende å utföre, særlig fordi nesten alle målestaker var nedsnödd og fölgelig ga liten stötte til sonderingsarbeidet. Regnet som gjennomsnitt for hele breflaten hadde Ålfotbreen störst vinterbalanse med hele 4670 mm akkumulert nedbör, dette er 120 mm mer enn hva som tidligere er målt på denne breen (i 1968). De störste absolutte snödyp ble derimot målt på Engabreen hvor en i enkelte områder fant opptil 13 m snö. Snömengdene avtok imidlertid raskt innover fra kysten og i Öst-Jotunheimen var det faktisk mindre snö enn det beregnet normale. Fig. 40 viser vinternedbören i 1200 m-nivået i Sör-Norge. Ålfotbreen skulle etter dette kartet fått 160% av normalnedbören, Nigardsbreen 150% mens Gråsubreen hadde bare 90% av normalverdiene. Nå passer ikke disse verdiene helt med hva målinger på breene

MASS EXCHANGE ON GLACIERS IN SOUTHERN NORWAY 1973

Fig. 41 Materialomsetningen på de undersökte breene i Sör-Norge. Et profil er lagt fra Ålfotbreen til Gråsubreen, og de övrige breer er plassert i forhold til likevektslinjens höyde et år breene er i likevekt.

> The mass exchange on glaciers in Southern Norway. The glaciers are placed on a profile from Ålfotbreen to Gråsubreen according to the height of the equilibrium line calculated for steady state conditions on the glaciers.

viste, særlig for Nigardsbreen synes det å være et visst avvik, men kartet illustrerer godt den uvanlig store nedbörsgradienten som vinteren 1972/73 eksisterte mellom Vestlandet og mer sentrale fjellströk.

Sommeren var karakterisert ved en omtrent normal juni måned, relativ varm juli og en kald og nedbörsrik august. Det vesentligste av ablasjonen foregikk derfor i juni og juli. I august kom nedbören vesentlig som snö på breplatåene både i Sör-Norge og i Svartisområdet. Deler av denne nysnöen ble liggende resten av sommersesongen og en kunne derfor regne ablasjonsesongen som avsluttet i begynnelsen av august på de höyestliggende områdene. I Glomfjord og på Björkehaug var middeltemperaturen i august h.h.v. 2,5°C og 2,1°C lavere enn normalt. Sommerbalansen ble lavere enn normalt på de vestligste breene, men omtrent normal lenger öst. Gråsubreen hadde derimot markert höyere sommerba-

NET BALANCE DIAGRAMS 1973

Fig. 42 Nettobalansekurvene for 1973 Å - Ålfotbreen, N - Nigardsbreen, Ha - Hardangerjökulen, S - Storbreen, He - Hellstugubreen, G - Gråsubreen, B - Blomsterskardbreen, E - Engabreen, H -Högtuvbreen og TR - Trollbergdalsbreen. Net balance curves for 1973. For code explanation, see above.

Fig. 43 Diagrammet viser forholdet mellom vinter- og sommerbalansen i 1973 sammenliknet med middelverdiene av de siste 11 års målinger og et år med beregnet "normal" materialomsetning.

Å – Ålfotbreen, N – Nigardsbreen, H – Hardangerjökulen, S – Storbreen, He – Hellstugubreen og G – Gråsubreen.

Relation between winter and summer balance in 1973 compared to the mean of the previous eleven years and also to that of a year with a computed "normal" mass exchange. For code explanation, see above.

lanse enn normalt, dette regnes å ha sammenheng med en unormal tidlig eksponering av is og firn på denne breen og fölgelig lav albedo store deler av sommersesongen.

Materialhusholdningen viste store overskudd på alle de vestlige breene, störst var overskuddet på Engabreen hvor hele 2720 mm av vinternedbören ble holdt tilbake. Et så stort overskudd er ikke tidligere registrert. Bare Hellstugubreen og Gråsubreen kom ut med underskudd i nettobalansen.

Summert over perioden 1963-73 viser fig. 43 at Nigardsbreen har hatt en betydelig vekst i sitt brevolum, Ålfotbreen og Hardangerjökulen har vært omtrent i balanse mens alle breene fra Vest-Jotunheimen og östover har minket og minket mest i de östligste områdene. Årsakene til denne ujevne volumendring regnes å være utlöst av relativt ökende vinternedbör på de vestligste breene i forhold til östlige områder. Dette har igjen ulik virkning på albedoforhold og ablasjonshastigheten utover sommersesongen (Tvede, 1974 b).

GLASIAL-METEOROLOGISKE UNDERSÖKELSER I 1973

Innledning

Detaljerte målinger av stråling og ablasjon gjennom sommersesongen ble satt i gang på Ålfotbreen og Austre Memurubre i 1970, og fortsatt på de samme breer i 1971. Sommeren 1972 flyttet man undersökelsene over fra Austre Memurubre til Nigardsbreen, mens virksomheten på Ålfotbreen fortsatte som i tidligere sesonger. I 1973 skulle stasjonen på Ålfotbreen ikke bemannes kontinuerlig, og Brekontoret bestemte seg for å starte energibalansemålinger på Engabreen i Svartisområdet. Observasjonene på Engabreen pågikk så fra 22. juni til 30. august. På Nigardsbreen kjörte man samme program som sommeren för, denne gang med observasjonsperiode fra 22. juni til 6. september.

Undersökelsene i 1973 er stort sett i samsvar med hva som er utfört i de foregående sesonger. Både på Nigardsbreen og Engabreen har man lagt vekt på å

Fig. 44

Kart som viser beliggenheten av de breer hvor energibalanseundersökelser er foretatt. Nigardsbreen og Engabreen er undersökt i 1973.

Map of Southern Norway, containing the location of glaciers where heat balance investigations have been performed. Nigardsbreen and Engabreen are the two glaciers examined in 1973. få gjennomfört et arbeidsprogram hvor måling av stråling og ablasjon greitt lar seg kombinere med Brekontorets årvisse målinger av massebalanse og de vanlige meteorologiske parametre. Innholdet i denne artikkelen må sees i sammenheng med det som for övrig presenteres i foreliggende rapport. Imidlertid er undersökelsene av energibalansen også lagt opp slik at de föyer seg inn i rekken av de bestrebelser som gjöres på breer over hele verden for å få oversikt over de ulike meteorologiske faktorer's innflytelse på bre-avsmeltingen.

I fig. 44 er Nigardsbreen og Engabreen tegnet inn på et Norgeskart, sammen med de breene hvorfra energibalanse-undersökelser er beskrevet tidligere. Nærmere omtale av tidligere undersökelser er gitt i tabell III og i de 3 foregående årsrapporter fra Brekontoret.

Metoder og instrumenter

Ablasjonsmålingene både på Nigardsbreen og Engabreen tok til etter at den altoverveiende del av setningen i snöen hadde skjedd, og snöen var våt helt ned til sommeroverflaten. Metodikken var således den vanlige: Ved hjelp av 3 stålstenger nedboret i breen måles breoverflatens synking, h, hver dag gjennom observasjonssesongen. Ablasjonen beregnes så etter at tettheten av våtsnöen, e_w , og det frie vanninnholdet i våtsnöen er fastsatt ved kalorimetrisk metode. Tettheten av den snöen som smelter (törrsnöen) er nemlig uttrykt ved

$$\theta_{d} = \frac{\theta_{w} - p}{1 - p}$$

der per den vekt-del fritt vann som snömassen inneholder. Etter disse beregninger kan så ablasjonen fastsettes som $\rho_d \cdot h$.

Den totale strålingsbalanse mellom atmosfære og breflate kan man få registrert med de såkalte balansemålere. Disse er imidlertid relativt kostbare, og de er kompliserte i bruk på breen. Både på Nigardsbreen og Engabreen brukte man derfor Robitzsch-aktinografer til å registrere den kortbölgete strålingen mot breen (globalstrålingen), mens et Star solarimeter ble benyttet til albedomålinger. Den langbølgete strålingen beregnes etter en forsøkstestet matematisk formel basert på skydekkeobservasjoner.

Globalstrålingen er summen av den direkte solstrålingen, I_s , den diffuse himmelstrålingen, I_h , og den reflekterte strålingen fra bratte fjellsider rundt breen, I_r . Dersom breflatens albedo betegnes a, kan den kortbölgete strålingsenergi som tilföres bremassen gjennom en horisontalt beliggende breoverflate uttrykkes som

$$I = (1-a)(I_s + I_h + I_r).$$

50 ·

På Nigardsbreen foretas målingene på en tilnærmet horisontal breoverflate i 1620 meters höyde, og noen korreksjoner av de registrerte og planimetrerte globalstrålingsdiagram blir ikke foretatt. Noen justering for breoverflatens helning der målestasjonen står på Engabreen, 900 m o.h., er heller ikke foretatt, da helningen (ca. 14[°]) er ganske nær öst-vest. På grunn av spesielle topografiske forhold omkring breen ved målestasjonen, bör nok en nærmere måle-analyse foretas för man eventuelt kategorisk kan slöyfe justeringene. Problemet blir forhåpentlig avklaret kommende sommersesong.

Fig. 45 Korrelasjonskurver mellom skydekke og globalstråling, basert på tidligere års observasjoner. Kurvene er i 1973 benyttet til kontroll og eventuell justering av skydekke-observasjonene både på Nigardsbreen og Engabreen.

Curves, based on detailed observations on Norwegian glaciers in former years, showing the connections between cloud cover and global radiation. The curves have been used for control of observed cloud cover (the important factor in the calculation of long-wave radiation) on Nigardsbreen and Engabreen during the summer 1973. Den langbölgete strålingen, som i det vesentlige avhenger av skydekket, er beregnet etter formelen

$$R_{c} = R_{0} (1 - k(\frac{c}{10})^{2}).$$

 R_o er strålingen ved klar himmel, og er ut fra direkte målinger fastsatt til -0,085 cal/cm²/min. Minustegnet angir at strålingsenergi som emitteres fra breflaten dominerer; breen tappes altså for energi og avkjöles. Sky-faktoren, k, er i beregningene både for Nigardsbreen og Engabreen gitt verdier fra 1, 1 til 1,7 - alt etter hvor tynt skydekket er og hvor höyt skybasis befinner seg over breflaten. Dette medförer (når man bruker formelen for R_c) at breflaten mottar mer langbölget strålingsenergi enn den emitterer dersom sky-tettheten, c, er over 9,5 ved tynt skydekke. Ved tunge og lave skyer vil breflaten ha langbölget strålingsgevinst dersom skyene dekker mer enn 7,6 tideler av himmelen. Observatörene på breen observerte skydekket 5-10 ganger pr.dögn, og observasjonene vil nödvendigvis bli noe subjektive. En god del av disse mangler er rettet opp ved å benytte globalstrålingskurvene til å justere sky-tettheten med. Ved målinger i tidligere sesonger har man nemlig funnet fram til brukbare korrelasjonskurver mellom globalstråling og skytetthet (fig. 45).

Registrering av nedbör og temperatur inngår i Brekontorets årvisse program for feltarbeid på breene. Data herfra er benyttet til å beregne nedbörens rolle i ablasjonen. Dersom det faller r mm nedbör med temperatur t_r, vil energien forbundet med nedbören kunne uttrykkes som

$$Q_r = \frac{r}{10} \cdot t_r \text{ cal/cm}^2.$$

Nedbören er målt i standard-målere og i målere av typen "Pluvius", og midlere verdier er beregnet. Temperaturen i lufta og i nedbören når den treffer breflaten er forutsatt å være den samme. Den beregnede middeltemperaturen i dögn med nedbör er brukt.

Resultater

De dögnlige verdier for ablasjon og netto tilfört strålingsenergi er i fig. 46 framstilt grafisk for både Engabreen og Nigardsbreen. I figuren er dessuten globalstrålingen for hver dag tegnet inn.

Både ablasjon og globalstråling varierer relativt kraftig fra dag til dag, og illustrerer de raskt skiftende værforhold både på Engabreen og Nigardsbreen. Netto tilfört stråling holder seg imidlertid ganske jevn fram gjennom sommeren. Dette skyldes hovedsakelig at den langbölgete strålingen svinger i tilnærmet motsatt fase av globalstrålingen, samtidig som vel 60% av globalstrålingen reflekteres fra breflaten. Netto tilfört stråling avtar relativt lite gjennom observasjonsperioden, da albedoen synker utover sommeren og i noen monn oppveier solstrålingens avtagende styrke etter sommersolverv.

På Engabreen ser det ut til at 11 dögn har hatt dominans av "vinterklima", dvs. at at netto tilfört strålingsenergi er större enn den energien som er gått

Fig. 46 Dögnlige ablasjons- og strålingsforhold på Engabreen (överst) og Nigardsbreen, sommeren 1973.

Daily ablation and radiation conditions on Engabreen (above) and Nigardsbreen during the summer season 1973. med til ablasjon. Dette betyr at de non-radiative faktorer må ha bevirket avkjöling av bremassens överste lag, så noe (i enkelte dögn praktisk talt all) strålingsenergi har blitt brukt til å varme opp frosset snö og is. På Nigardsbreen finner man 22 dögn, dvs. om lag 1/4 av sommersesongen, hvor "vinterklima" har dominert. Antall "vinterdögn"på Nigardsbreen er tilnærmet det samme som i observasjonsperioden sommeren -72.

	Mean	Global	Net. Rad.	Ablation	Registred	Relative Heat Supply by 🗰					
Period	Albedo	Radiation	absorbed	caused by	total	Radiation	Convection and	Precipitation =			
	1		by Glacier	Radiation	Ablation		Condensation	Rain(+) and Snow(-)			
day/month	%	cal/cm^2		g/ cm^2		7%					
22/6 - 28/6	67	4870	1101	13,8	20,2	68,3	31,5	0,2			
29/6 - 5/7	66	2833	912	11,4	27,2	41,9	57,5	0,6			
6/7 - 12/7	67	3437	965	12,1	25,4	47,6	51,6	0,8			
13/7 - 19/7	65	3712	930	11,6	17,2	67,4	31,7	0,9			
20/7 - 26/7	63	3722	962	12,0	23,3	51,5	48,0	0,5			
27/7 - 2/8	62	3441	885	11,1	30,9	35,9	63,7	0,4			
3/8 - 9/8	73	1742	466	5,8	7,5	77,3	22,5	0,2			
10/8 - 16/8	72	3246	360	4,5	13,6	33,1	66,9	≈ 0			
17/8 - 23/8	73	2272	379	4,8	7,4	64,9	35,1	≈ 0			
24/8 - 30/8	70	2552	411	5,2	8,0	65,0	35,0	≈ 0			
31/8 - 6/9	73	1854	265	3,3	0,6	550,0	-444,7	-5,3			
22/6 - 6/9	68	33681	7636	95,6	181,3	52,7	46,9	0,4			
* Sublimati	* Sublimation is insignificant; probably about 0.1%										

T A B L E I ABLATION CONDITIONS, NIGARDSBREEN 1973

Т	А	В	L	Е	II
_		_			-

ABLATION CONDITIONS, ENGABREEN 1973

	Mean	Global	Net. Rad.	Ablation	Registred	Re	ly by *	
Period	Albedo	Radiation	absorbed	caused by	total	Radiation	Convection and	Precipitation =
			by Glacier	Radiation	Ablation		Condensation	Rain(+) and $Snow(-)$
day/month	%	cal,	$/ \text{ cm}^2$	g/	cm ²		7,0	
22/6 - 28/6	65	3303	995	12,4	29,7	41,8	58,1	0,1
29/6 - 5/7	64	3203	1047	13,1	43,1	30,4	68,9	0,7
6/7 - 12/7	61	3349	1051	13,2	55,1	24,0	75,5	0,5
13/7 - 19/7	60	2663	1034	12,9	55,2	23,4	75,7	0,9
20/7 - 26/7	54	3694	1242	15,5	53,0	29, 2	70,8	≈0
27/7 - 2/8	54	2282	996	12,5	22,3	56,1	41,6	2,3
3/8 - 9/8	60	2223	737	9,2	17,5	52,6	45,6	1,8
10/8 - 16/8	60	1070	585	7,3	25,4	28,7	67,2	4,1
17/8 - 23/8	67	1503	524	6,6	15,8	41,8	57,8	0,4
24/8 - 30/8	71	1440	433	5,4	17,6	30,7	68,2	1,1
22/6 - 30/8	62	24730	8644	108,1	334,7	32,3	66,7	1,0
* Sublimat	ion is ir	nsignificant	even com	ared with F	lain		•	• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Den dårlige korrelasjonen mellom netto tilfört stråling og ablasjon, både på Engabreen og Nigardsbreen, bekrefter tidligere års konklusjoner om at det er konveksjon og kondensasjon som i det vesentlige bestemmer ablasjons-svingningene fra dögn til dögn. Det er åpenbart at strålingen tilförer breene en noenlunde jevn "grunnsum" av ablasjonsenergi fram gjennom sommeren.

For Nigardsbreen er de mest interessante energibalanse-faktorer fört opp i tabell I. Ukentlige verdier er beregnet. I fig. er ablasjonen og energitilförselen fra de dominerende ablasjonsfaktorene tegnet som söylediagram.

For hele observasjonsperioden viser tabell I at ca. 97 g/cm² av den målte ablasjonen på 181 g/cm² skyldes stråling. Strålingen bidro altså med om lag 53% på Nigardsbreen fra 22. juni til 6. september, mens konveksjon og kondensasjon ydet ca. 47%. Nedbören forårsaket under $\frac{1}{2}$ %, et resultat som i störrelsesorden samsvarer med det fra forrige sesong. Sublimasjon er regnet for ubetydelig.

På Nigardsbreen har det kun i siste uke av observasjonssesongen vært dominans av "vinterklima", når man ser uken under ett. Sprangene i de relative strålingsbidrag fra uke til uke er like markert som i sesongen -72. Forskjellen mellom vel 77% og litt over 33% strålingsablasjon i de förste ukene av august er mest fremtredende i så måte.

De ukentlige ablasjonsforhold på Engabreen er presentert i tabell II og i fig. 47

I observasjonsperioden sett under ett bidro strålingen med ca. 108 cal/cm², eller vel 32% av den registrerte ablasjon på ca. 335 g/cm². Konveksjon og kondensasjon forårsaket om lag 67%, mens nedbören bidro med ca. 1%. Sublimasjon har nok forekommet, men i helt ubetydelig grad.

Det har på Engabreen i observasjonsperioden ikke vært dominans av "vinterklima" i så lang tid som en uke. Sprangene i strålingens relative bidrag til ablasjonen er nok markerte, men ikke i så stor grad som på Nigardsbreen. I juli var de non-radiative faktorer meget dominerende. I det hele tatt må ablasjonsforholdene på Engabreen sies å ha stor likhet med de forhold man i de tre foregående sesonger har observert på Ålfotbreen. Det maritime klima er antagelig enda mer markert på Engabreen enn på Ålfotbreen. Det må dog tilföyes at målestedet på Engabreen som ligger 200 m lavere enn normal likevektslinje også er svært utsatt for brevind, og at de klimatiske forhold på breplatået nok er noe annerledes. Av praktiske grunner er det forelöpig ikke mulig å flytte målestedet noe höyere opp på breen mot et mer horisontalt parti nær likevektslinjen.

Diskusjon

Av praktiske og ökonomiske grunner ble målinger av langbölget stråling, albedo

g/cm² ENGABREEN 1973 -52 Mainly ATION Convection and ABL Condensation. -44 **IOTAL** Date Radiation -36 -28 -20 -12 . rt. 'e | 61 - 12/2 12 10/ 177 2× - 2/2 1/22 - 1/ 10/ - 16/ è, 00 4 - to? I 10 I 5 2 27

٦

Fig. 47

Ukeverdier for ablasjon med markering av bidrag fra stråling og fra de non-radiative faktorer på Engabreen (överst) og Nigardsbreen (nederst) sommeren 1973.

Ablation and contribution of radiation and non-radiative factors. Weekly accounts during the summer of 1973 on Engabreen (above) and Nigardsbreen (below). og fritt vanninnhold i bremassen utfört ikke utført så ofte som en kunne ønske. Beregninger av disse faktorer i energibalansen er derfor i noen grad basert på beslektede observasjoner og erfaringer fra tidligere sommersesonger. I de usikkerhetsberegninger som er foretatt, er derfor en del av verdiene basert på skjönn. Dette gjelder först og fremst feilgrensen på 0,5 g/cm² for dögnlige ablasjon og 10 cal/cm² for dögnlig langbölget stråling. Globalstrålingsverdiene kan man med större visshet fastsette feilgrenser for. Standardavviket i de daglige verdier, slik de er beregnet av aktinografdiagrammene, er for Nigardsbreen på 3% og for Engabreen på 2%. (Aktinografen på Nigardsbreen brukte 7 dögn pr.omlöp, mens aktinografen på Engabreen brukte 4 dögn pr.omlöp).

Feil beheftet de dögnlige verdier vil slå ut til begge sider, og ved usikkerhetsberegning for de ukentlige verdier fås en viss utjevning. Ved å bruke de vanlige statistiske metoder basert på de dögnlige verdier gitt ovenfor, blir standardavviket i verdiene for ukentlig ablasjon på 7% for begge breene. Når det gjelder strålingens prosentvise bidrag til ablasjonen, blir den absolutte feilgrensen lik 3% for Nigardsbreen og 2% for Engabreen.

Fordi man ennå synes datagrunnlaget er for spinkelt, venter man med en presentasjon av undersökelser vedrörende klimatiske ulikheter mellom övre og

ABLATION CONDITIONS ON GLACIERS IN NORWAY										
Years of	Period	Glacier	Position		Ablation components %			Author		
investigation	day/month	(See man)	°N °E	Radiation	Convection	Condensation	Rain and	(vear)		
nivesugation	au)/montai		m. a .s.l.				sublimation	() 011)		
		Gråsu-	610 39					T. Klemsdal		
1963	12/6 - 18/6	breen	08 ⁰ 36	98		2		(1964)		
	27/7 - 9/8		1975	59	27	14				
		Austre-	61° 33					N.V.E./S. Messel		
1970	26/6 - 30/8	Memuru-	08 ⁰ 30	67	3	3	< 1	(1971)		
1971	15/6 - 6/9	bre	ca.1900	77	2	3	< 1	(1972)		
		Stor-	61° 35					O. Liestöl		
1955	6/7 - 8/9	breen	08 ⁰ 20	54	32	14	< 1	(1967)		
			1600							
		Skagastöls-	61° 30					B.E.Eriksson		
1954	M a y - Sept.	breen	07° 50	79	21			(1959)		
1955	May - Sept.		ca. 1600	66	34					
		Omn s-	6 0° 3 9					S. Messel		
1968	3/6 - 8/9	breen	07 ⁰ 30	50	34	16	< 1	(1971)		
1969	3/6 - 8/9		1540	55	31	14	< 1			
		Nig ards-	61 ⁰ 43					N,V,E/S,Messel		
1972	15/6 - 6/9	breen	07 ⁰ 08	64	3	6	< 1	(1973)		
1973	22/6 - 6/9		1620	53	4	7	<1	(1974)		
	1/7 - 12/7	Supphelle-	610 30	32	6	8		O.Orheim		
1967	1/8 - 18/8	breen	06 ⁰ 48	26	7	4		(1968)		
	4/9 - 8/9		ca.70	14	8	6				
								N.V.E/S.Messel		
1970	1/6 - 14/9	Ålfot-	61° 45	44	5	6	< 1	(1971)		
1971	1/6 - 6/9	b ree n	05° 40	43	5	6	1	(1972)		
1972	1/6 - 2/8		ca. 1250	53	4	16	1	(1973)		
		Enga-	66 ⁰ 40					NV.E/S.Messel		
1973	22/6 - 30/8	breen	13° 50	32	6	7	1	(1974)		
			900					()) /		

TABLE 111

nedre partier både på Nigardsbreen og på Engabreen.

For å få en oversikt over hvilken rolle de ulike klimatiske faktorer spiller i ablasjonen, er resultatene fra Nigardsbreen og Engabreen i 1973 fört opp sammen med resultater fra undersökelser som tidligere er gjort i Norge (tabell III).

Ut fra det som er sagt om variasjoner i faktorenes bidrag fra uke til uke, må den relativt korte observasjonstid for enkelte av undersökelsene påpekes. Videre er det grunn til å understreke at verdiene for en og samme bre åpenbart kan variere ganske kraftig fra sesong til sesong, avhengig av albedo og værlag. Resultatene fra Nigardsbreen illustrerer dette tydeligst.

BEVEGELSESMÅLINGER PÅ NOEN BREER

Innledning

Fra 1965 og utover er det i Brekontorets regi utfört et omfattende program for å bestemme overflatebevegelsen på et utvalg av de breer hvor massebalansemålinger har pågått eller fortsatt pågår. De samme stakene som benyttes i beregninger av massebalansen, er triangulert inn fra fastpunkter på fjell med visse mellomrom. Forflytningen av stakene mellom målingene kan så beregnes. Usikkerheten i posisjonsbestemmelsen av stakene regnes å ligge under 0,5 m på alle breene (Nielsen, 1970). Det störste usikkerhetsmomentet ligger mer i den forflytning av stakene som foregår ved omboringer. Enkelte ganger har det nok forekommet forflytninger av stakene uten at lengde og retning av forflytningen er notert, eller er bare omtrentlig målt. Nå kan grovere feil av denne type forholdsvis enkelt lokaliseres, særlig på breer hvor bevegelsen er liten.

I denne rapporten vil det bli presentert resultater av bevegelsesmålinger på Ålfotbreen, Nigardsbretunga og Hellstugubreen i Sör-Norge samt Trollbergdalsbreen i Svartisområdet. Disse breene er valgt ut fordi en her har oppnådd målinger på tilstrekkelig mange punkter til å kunne konstruere bevegelseskarter over hele dreneringsområdet. I motsetning til tidligere rapporter om bevegelsesmålinger, har en derfor valgt å presentere resultatene som et isolinjekart for hver bre hvor isolinjene er trukket på grunnlag av gjennomsnittlig bevegelseslengde pr. år beregnet for hver stake. Denne presentasjonsmåten er også brukt i årsrapporten for 1972 hvor data fra Vesledalsbreen er behandlet.

Ålfotbreen

Årlige bevegelseslengde fra 28. juli 1966 til 20. september 1973 er beregnet som middel for hele perioden eller for vesentlige deler av den. Alle stakene på

Fig. 48 Midlere årlig brebevegelse i meter pr. år beregnet på grunnlag av målinger i perioden 1966-1973. Stiplet linje angir usikre områder.

See text on figure. Stippled line means uncertain values.

breen, se fig. 3 for plasseringen, med unntak for st. 19, 39, 48 og 49 er brukt til utarbeidelse av bevegelseskartet, fig. 48. Også et tretårn nær st. 37 som ble bygget og innmålt hösten 1965, ble gjenfunnet i 1972 og en fikk da en sikker hastighetsbestemmelse for dette punktet. Ingen annen forflytning enn breens egen bevegelse kan ha virket på dette tårnet som har vært nedsnödd de fleste sommere siden 1965.

Kartet antyder en forholdsvis stor bevegelse i breens midtre deler, fra 15 til 20 m/år, men hastigheten avtar raskt ut mot sidene og mot toppunktet. Den lave hastigheten langs breens östre dreneringsgrense kan tyde på at en forholdsvis tynn bremasse her overligger en fortsettelse av fjellryggen sör for dreneringsgrensa. De relativt store hastighetsvariasjonene gjenspeiles også i sprekkesystemet på breen som vesentlig finnes i breens midtre og östlige områder. Ut fra fig. 48 er det også mulig å beregne den tid en partikkel som fölger overflatebevegelsen vil bruke fra breens toppunkt ned til brefronten. Forutsatt samme hastighetsfordeling som idag,ville en slik partikkel bruke ca. 500 år på hele strekningen, mens en partikkel som fölger breens bunnsåle ville bruke noe lenger tid p.g.a. friksjon mot fjellgrunnen.

Det må også nevnes at Ålfotbreens toppunkt ble höydebestemt 20. september 1973 ved tilbakeskjæring til fire av N.G.O.'s trigonometriske fastpunkter. Resultatet må regnes å ha en usikkerhetsgrense lik <u>+</u> 1 m. Ved tidspunktet for flybildefotograferingen, 5. august 1968, er toppunktets höyde bestemt til 1378 m o.h. Nöyaktig samme tall ble beregnet ut fra målingene i 1973, noen vesentlig endring i breens tykkelse på dette punkt kan derfor ikke ha funnet sted i perioden 1968-73. Breens nettobalanse på toppunktet er i samme periode målt til +10 m snö og firn hvilket betyr at vertikalhastigheten på dette punktet må være i störrelsesorden 2 m/år.

Nigardsbretunga

Ablasjonen på Nigardsbretunga måles ved hjelp av 15-20 m lange stålwire som smeltebores ned i breen. Triangulering av disse wirene har pågått nesten hvert år siden 1966. Resultatene er tidligere publisert for perioden 1966-69 (Nielsen, 1970). Breens årlige bevegelse er her såpass stor at avstanden mellom to wireposisjoner kan tilbakelegges mellom de årlige trianguleringene, f. eks. slik at det geografiske koordinatpunkt som sommeren 1968 betegnet wire nr. 32 kan sommeren 1969 beskrive wire nr. 33. Det blir derfor vanskelig å sammenlikne hastighetsvariasjoner ved hver enkelt wire over en periode av flere år da praksis har vært å flytte wirene oppover breen med ulike tidsintervaller. Det er også vanskelig å flytte wirene til samme posisjon hver gang p.g.a. sprekker og groper i breen som er uegnet for nedboring av wirene.

Av slike årsaker har en valgt å konstruere kartet over midlere årshastighet ut fra målinger i perioden 20. september 1966 til 28. august 1969. Midlere hastighet mellom hver måling er beregnet og denne verdien regnes å representere hastigheten i et punkt midt mellom wireposisjonene ved hver innmåling. Som en

Fig. 49

Midlere årlig brebevegelse i meter pr. år beregnet på grunnlag av målinger i perioden 1966-69. Stiplet linje angir usikre områder.

See text on figure. Stippled line indicates uncertain values. vil se av fig. 7, er alle målewirene plassert forholdsvis midt på breen, hastigheten nær brekanten er derfor mindre kjent. I fig. 49 har en således valgt bare å antyde isolinjenes form ut mot kantene, slik isolinjene vanligvis ser ut på breer hvor en har oppnådd bedre spredning av målepunktene. Hastigheten midt på breen faller fra mer enn 200 m/år i 800 meter-nivået til under 50 m/år nær brefronten. Korttidsmålinger utfört av Bergersen (1953) antyder en ishastighet av störrelsesorden 400-500 m/år i de bratte brefallene mellom 1100 og 1300 m o.h.

Hellstugubreen

Hellstugubreen må karakteriseres som en av Norges mest undersökte breer. Adkomsten er relativt enkel, breen er veldefinert uten större sprekkeområder og arbeidet på breen blir bare sjeldent hindret av dårlig vær. Målinger av hastigheten på breens nedre del ble satt igang av A.Koller allerede i 1937 og målingene pågikk hvert år fram til 1945. 3 fastpunkter ble da etablert rundt bretunga

Fig. 50 Midlere årlig brebevegelse i meter pr. år. beregnet på grunnlag av målinger i perioden 1968-72. Stiplet linje angir usikre områder.

> See text on figure. Stippled line indicates uncertain values.

og punktene ble knyttet til NGO's koordinatnett. Resultatene av hastighetsmålinger i perioden 1937-45 er publisert av Liestöl (1962). Også R. Pytte utförte hastighetsmålinger i perioden 1961-63, ikke bare på bretunga, men også ved endel staker i breens firnområde. De fastpunktene som benyttes ved dagens målinger på Hellstugubreen ble alle knyttet til NGO's triangelnett i löpet av 1968-69 og et kart som viser punktenes beliggenhet samt angir UTM-koordinater er presentert i den glasiologiske årsrapport for 1969. Fig. 50 er utarbeidet på grunnlag av 16 staker forholdsvis jevnt fordelt over breflaten, se fig. 17 for lokalisering av stakene. Bare i botnene i sör-vest mangler en direkte observasjoner av brebevegelsen. En har her måttet trekke isolinjer (med brutt strek) delvis basert på ekstrapolasjon fra nærliggende staker, dels basert på skjönn.

De störste hastigheter på Hellstugubreen, 15-20 m/år, finnes i et lite område mellom 1700-1800 m o.h. Breen presses her gjennom en innsnevring av dalen og overflatehelningen er markert större enn både ovenfor og nedenfor dette området. Det er ellers en markert senkning av hastigheten nederst på bretunga og

Fig. 51 Hellstugubreen 21. august 1955. Bare små endringer kan spores på breens övre deler mens bretunga er blitt merkbart redusert i perioden 1941-73. Se ellers teksten.

> Air-photo of Hellstugubreen taken on August 21 st, 1955. Very small changes are known to have occured in the upper part of the glacier in the period of 1941-73, whereas a marked reduction of the glacier tongue is documented. The glacier emerging from the cirque in the middle of the photo today no longer has any connection with the main glacier.

i firnområdets sör-östre deler. I det sistnevnte området skyldes dette vesentlig et mye lavere spesifikt nettooverskudd i materialhusholdningen enn i, og like nedenfor, botnene. Forholdsvis lite bremasse trenger derfor å transporteres unna for å opprettholde likevekt i dette området i motsetning til botnområdene i sörvest.

Sammenliknet med Kollers og Pyttes resultater viser fig. 50 ingen påviselige hastighetsendringer for områdene höyere enn 1650 m o.h. fra 1942 til 1972. Fra 1941 til 1962 smeltet brefronten tilbake ca. 250 m og fra 1962 til 1968 var tilbakegangen ytterligere 100 m. Samtidig er ismassene blitt stadig tynnere et godt stykke oppover bretunga. Dette gjenspeiles også i breens hastighet som er blitt stadig lavere i nivåene under 1650 m o.h.

Trollbergdalsbreen

Dette er en liten botnbre (1,8 km² dreneringsareal) beliggende ved Skjelåtind like nordöst for selve Svartisen, se fig. 1 for lokalisering. Stakene på breen, ialt 10 stk., ble triangulert 1.juli 1970, 1.september 1971 og 16.august 1973 fra ialt 4 fastpunkter som er opprettet og koordinatbestemt rundt breen. Trollbergdalsbreen er relativt flat over det meste av sitt areal, bare innerst mot

TROLLBERGDALSBREEN

Mean glacier velocity in metres pr. year Measured during the period 1970-1973

Fig. 51 Midlere årlig brebevegelse i meter pr. år beregnet på grunnlag av målinger i perioden 1970-73

See text on figure.

Skjelåtind finnes et brattere parti mellom 1100 og 1200 m o.h. Resultatet som presenteres i fig. 52, viser at hastigheten er svært liten over hele breen, det meste av breen beveger seg mindre enn 2 m/år. Det er ellers en klar tendens til avtakende hastighet ut mot fjellsidene og ned mot brefronten, mens den innsnevring av breen som foregår rundt 1000 m o.h. medförer noe ökende hastighet i dette området. Sedimenttransportmålinger i elva fra Trollbergdalsbreen har vist forbausende höye konsentrasjoner av slam i brevannet. Sommeren 1972 kunne en registrere en spesifikk transport av sedimenter i breelva som lå markert höyere enn ved noen andre breer hvor tilsvarende målinger utföres (Ziegler, 1974). Årsaken til dette forholdet kan neppe skyldes at dagens erosjon er större under Trollbergdalsbreen enn ved andre breer, noe den meget beskjedne brebevegelsen burde understreke. Forklaringen må sökes i andre forhold av geologisk eller glasialhydrologisk karakter.

SUMMARY

Mass balance studies, meteorological and hydrological investigations at selected glaciers

The Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) maintains glaciological studies at a number of selected glacier for two main reasons. When water power utilization is considered in a particular area, reliable information on river run-off must be available. River gauging has therefore been carried out during many years, in several cases for more than 50 or 100 years. Mean annual river discharge can be calculated from such data. However, most of the gauging stations are situated in valleys far from the glaciers so that their influence on the river hydrology is subdued. The modern technology for power plants in mountaineous areas is based upon high altitude reservoirs, which in turn means that the water intake will be situated close to the glaciers in glacierized areas. This gives rise to various problems such as silting-up of reservoirs, a substantial flow of water in a short summer season, almost no run-off in winter, and considerable annual variations in run-off due to variations in glacier melt. The first mentioned problem is dealt with in special reports based on sediment transport studies, whereas the two latter must be solved by direct observations of glacier mass balance and melt water discharge. Results from these studies are reported in this publication.

Mass balance studies, methods

The mass balance studies were carried out by standard methods previously described by Östrem and Karlen (1962), Östrem and Stanley (1969) and others. The mass changes on the glaciers during the glaciological year 1973 were calculated for 7 glaciers in South Norway and 3 glaciers in North Norway (see Fig. 1).

Of these 10 glaciers, NVE carried out measurements on 7 and the Norwegian Polar Institute on the remaining 3 (Storbreen, Hardangerjökulen and Blomsterskardbreen). The last mentioned glacier was investigated with a somewhat simpler method than the other ones and a net balance curve could be obtained from observations at a limited number of stakes only. However, the net balance curves seem to maintain almost the same configuration from one year to another although their positions in the diagram are shifting. Concerning the terminology, it has been attempted to follow proposals given by UNESCO in 1969. The measurements were made according to the stratigraphical system based upon the existence of an observable summer surface which is assumed to be formed at the time of minimum mass at the site.

The mass balance at a selected point during a balance year, i.e. within the period between the formation of two consecutive summer surfaces, is shown in Fig. 2. The diagram illustrates all the point terms used. All point terms are symbolized by small letters (b_n, b_s, b_w) and the values are reported as volumes of water per unit area, which is normally expressed as metres of water equivalent.

The areal mass balance quantities are found by integrating the point values over the area. The balance year is normally of different lengths in various parts of the glaciers, and the integration therefore cannot be clearly defined with regard to time. The terms are symbolized by capital letters (B_w, B_s, B_n) and the quantities are given in volumes of water equivalent. In most places the winter, summer and net balances are reported, and the summer accumulation (C_s) is estimated, if this has been observed. Normally the winter ablation is negligible on Norwegian glaciers.

The field measurements were made as in previous years. The winter balance was found by making numerous snow-depth measurements, normally by sounding, and the snow density was measured in pits at only a few points. As it is rarely possible to carry out the field work exactly at the time of the change from the winter to the summer season, the deviations from the final values can be found by making additional measurements or calculations from available meteorological observations. This was not done for any of the investigated glaciers in 1973. For each glacier a map showing the positions of stakes, pits and sounding profiles is given, and another map showing the distribution of the winter balance are presented in the report. The balance at selected dates, and especially the summer balance, is found by field measurements of the snow and firn density, in addition to stake observations.

A table as well as a diagram showing the mean winter, summer and net balances in each 50-m or 199-m height interval are presented for each glacier. The area distribution and the net balance volumes are also illustrated in this diagram.

On several of the glaciers there is a fairly large number of stakes. As the stakes have a tendency to disappear during the winter season, replacement stakes must be established in the spring. Much work is, therefore, involved in calculating and checking the balance at each stake.

Another time-consuming part of the calculation work is connected to the planimeter measurements on maps of the winter and summer balance. Much effort has been made to transfer this work to a computer. Two different solutions are now tested and most calculations of summer and winter balances presented in this report are results of a computerized procedure carried out on NVE's CD-3200.

One computer programme is based upon the idea of using "Thiessen polygons" for glacier surfaces, using values at selected points. Experience showed, however, that this programme consumed relatively much computer time. Another programme, named "BALANCE", is based upon the digitalizing of glacier outline, contour lines and isolines. A sub-programme is made to plot maps which make possible a check of all digitalized and punched data before the final calculations are made. Various areas are determined by numerical integrations and the corresponding water volumes found by multiplication with a representative water equivalent for that area. "BALANCE" works fairly fast; results from one glacier are delivered within 15 minutes if all pertinent data is available on punch cards. The deviation in the final results, compared with "hand made" calculations is less than 1%.

The accuracy of mass balance measurements depends on the number of measuring points and the accuracy of each observation. Local conditions during the field work may influence the accuracy, as well as the experience of the field personnel. Snow distribution is in general farily similar from year to year, so the reliability will normally increase with time. Consequently, the evaluation of the accuracy of the results must be a subjective evaluation of the various factors involved.

In our measurements the accuracy of the winter and summer balances is always

66

considered better than 10%, and, unless special difficulties have been encountered, the absolute accuracy is better than 25 cm in the net balance figures.

Field results from the balance year 1972-73

- 1

The precipitation was highly above normal during the winter season in the maritime areas along the west coast, whereas the central and eastern areas received about normal precipitation. Winter balance measurements were carried out in April and May and the results showed very high values for Ålfotbreen, Nigardsbreen and the glaciers in the Svartisen area. The winter balance at Ålfotbreen amounted to 4,67 m of water equivalent which is the highest winter balance ever observed at any glacier in Norway. The highest spot values for snowdepth was, however, found on Engabreen where up to 13 metres of snow had accumulated in certain parts of the firn area. In Jotunheimen the winter balance was close to the expected "normal" value and even slightly below normal values were found on Gråsubreen. The abnormal high precipitation gradient in South Norway is demonstrated in Fig. 40.

Summer temperatures were 1-2°C above normal in June and July whereas August was very cold both in the Svartisen area and in South Norway. Frequent snowfalls were then observed on the glaciers. On the highest parts of Jostedalsbreen, in the Jotunheimen area and on Svartisen the melt decreased drastically so the end of the summer season could in fact be set to take place already at the middle of August. In spite of high melt rates in the first part of the season, summer balance proved to be close to normal. However, the heavy winter snow cover on the western glaciers kept the albedo high throughout the entire summer and the ablation rate was lower than normal. In Jotunheimen particularly on Gråsubreen, the reverse situation was present. The relatively thin snow layer disappeared rapidly during June and the first part of July so that the lower albedo caused an increased ablation during the rest of the summer.

The results indicate rather heavy positive net balances on all glaciers in the Svartisen area and in South Norway west of Jotunheimen. In the eastern part of Jotunheimen the Hellstugubreen and the Gråsubreen showed slightly negative net balances. All the balance values are shown in a table on p. 45 and are illustrated in Figs. 41-43. Fig. 43 gives also the summarized net balance values for the period 1963-73 compared with the results from 1973. Nigardsbreen has had an annual surplus of 0, 27 m whereas Ålfotbreen and Hardangerjökulen have been close to equilibrium during this period. All glaciers in Jotunheimen, however, have had, in average, a net mass loss. Consequently, the great difference in net mass balance results observed in 1972-73 may be caracterized as an enlarged picture of the average situation for the last 11 years.

67

Meteorological and hydrological investigations

In contrast to mass balance measurements that can be carried out without maintaining permanent crews on the glaciers during the melt season, meteorological and hydrological observations generally need more maintenance, mainly consisting of frequent servicing of the various instruments, particularly the rain gauges. Consequently, meteorological observations have been carried out at a selected number of glaciers only. Cloud cover, air temperature, relative humidity, wind conditions, precipitation and discharge in the melt water river were carried out at the following glaciers : Ålfotbreen, Nigardsbreen, and at all the investigated three glaciers in the Svartisen area. In addition, incoming short-wave radiation was measured at Nigardsbreen and at Engabreen.

All instruments were running throughout the whole ablation period except for certain short mechanical breakdowns. All data were plotted in diagrams and they are shown in illustrations, one for each glacier (see Figs. 6, 11, 28, 33, 38). The plotting procedure was made by a computer-operated plotting device, so that drafting work was reduced considerably.

The weather data observed and recorded at the glaciers showed in general fairly high temperatures, light wind and little rain in June and July. In August, however, frequent low pressure systems moved in from the west and they gave a wet, windy and cold weather situation. On Engabreen and Högtuvbreen no less than 500 mm of precipitation was recorded during August and on Nigardsbreen the monthly mean temperature was below 0^oC at the highest elevations.

The small rainfalls in July and the snow precipitation in August, made it difficult to collect reliable data from rain gauges in most firn basins. Only at Trollbergdalsbreen was it possible to work out a rain fall distribution map, see Fig. 39. On this little cirque glacier the rainfall distribution seems to be fairly even with an increase in precipitation towards the highest elevations. The areal mean values were 13% higher on the glacier surface than recorded at the observation hut.

Results concerning the temperature lapse rate, wind velocity and air moisture showed no marked deviations from earlier summers. Only on 3 or 4 days during the entire summer there were conditions that allowed evaporation from the glacier surface at Nigardsbreen and Engabreen.

Special radiation studies

To increase the knowledge of the influence of various meteorological parameters on glacier melt, special studies of radiation conditions were started at Ålfotbreen and Austre Memurubre in 1970. Two Robitsch Actinographs were installed at these glaciers and observations of cloudiness, daily ablation and surface albedo were made in addition to the usual meteorological observations. In 1973 the measurements were carried out at Engabreen and Nigardsbreen; Engabreen is situated just north of the Arctic circle and one would expect rather different radiation conditions at this glacier as compared with glaciers in South Norway. The instruments were set up at the observation hut 900 m a. s. l., about 200 m below the normal equilibrium line. Unfortunately this hut is rather frequently influenced by strong catabatic winds.

During the summer, albedo conditions were measured at different locations on the glacier tongue and on the plateau. Some more data are, however, needed before it is possible to construct an albedo map like the one presented for Nigardsbreen in last year's report.

The daily values for ablation, total incoming shortwave radiation and net absorbed radiation are presented for each glacier in Fig. 46. The weekly mean values for ablation caused by radiation and by non-radiative factors are presented in Fig. 47. The variations are considerable from week to week. On Nigardsbreen 22 days had "winter climate", i.e. convection and condensation cooled the surface so that some radiation energy had to be used to warm up frozen ice and snow. Only the last week of the observation period had "winter climate" as a mean. On Engabreen, similar conditions persisted on 11 days during the summer but never for a whole week.

For the period June 22th - August 30th the incoming radiation accounted for 32% of the glacier melt on Engabreen, convection/condensation accounted for 67%, whereas warm rain made up for the remaining one percent. Because of the catabatic wind mentioned above, the percent of radiation melt probably should be somewhat higher at the equilibrium line. However, it seems that Engabreen has a climate just as maritime as Ålfotbreen. The midnight sun evidently does not create any important differences in climate between the Svartisen area and South Norway.

On Nigardsbreen the observation period persisted from June 22th to September 6th. Of the total ablation in this period, radiation accounted for 53% and convection/condensation 47% which means a lower percent of radiation-melting than during the previous summer. The results from 1973 can be compared with similar measurements on other glaciers in Norway. Some of these (see p. 57) comprise very limited time intervals.

69

Surveying and movement studies

In the annual glaciological report giving results from 1972 (see Fig. 75) a map was presented showing the annual ice-movement on Vesledalsbreen. Similar maps are now presented for Ålfotbreen, the tongue of Nigardsbreen, Hellstugubreen and Trollbergdalsbreen on Figs. 48, 49, 50, 52. The maps are based on triangulation of ablation stakes for a number of years. In most cases between 10 and 20 stakes were used on each glacier. The variations in glacier velocity seem to depend mainly on surrounding topography, surface elevation and distance from the normal equilibrium line. On Ålfotbreen and Hellstugubreen the maximum velocity is in the order of 20 m per year. The small and rather flat cirque glacier Trollbergdalsbreen has a maximum annual movement of no more than 3 m. Nigardsbreen, however, moves very fast and more than 200 m per year was measured at 800 m a. s. l. A survey performed some years ago, indicates an annual velocity of the magnitude 400-500 m per year in the ice-falls between 1100 and 1300 m a. s. l. (see Bergersen 1953).

On Hellstugubreen the recent measurements can be compared with similar results from the periods 1937-45 and 1961-63 (see Liestol 1962 and Pytte 1964). No important changes in velocity seem to have taken place in the areas above 1650 m while the lower part of the glacier tongue has gradually diminished in this period and consequently the ice now moves with a decreasing velocity.
LITTERATUR

Bergersen, A.		
1953	:	Hastighetsmålinger på Nigardsbreen, Jostedalen 1952. Hovedfagsoppgave i fysisk geografi, Universitetet i Oslo. Upubl. (23 p.).
Liestöl, O.		
1962	:	Special investigations on Hellstugubreen and Tverrå- breen. <u>In</u> : Hoel og Werenskiold, Glaciers and snowfields in Norway. <u>N. Polarinst. Skrifter</u> 114 (291 p.).
1967	:	Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway. <u>N.Polarinst.</u> <u>Skrifter</u> 141, (63 p.), Oslo.
Nielsen, C. 1970	:	Triangulering og brebevegelsesberegninger i 1969. <u>In</u> : Glasiologiske undersökelser i Norge 1969. Rapport nr. 5/70 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (94 p.) (With an English sum- mary).
Dutto D		
1963	:	Materialhusholdningen for en del av Folgefonni 1963. Stensilert rapport fra Hydrologisk avdeling (24 p.).
1964	:	Hellstugubreen. En glasiologisk undersökelse. Hoved- fagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Upubl. (82 p.).
1967	:	Glasio-hydrologiske undersökelser i Norge 1966. Rap- port nr. 2/67 fra Hydrologisk avdeling, Norges vass- drags- og elektrisitetsvesen. Offset (83 p.). (With an English summary).
1969	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (149 p.). (With an English summary).
1970	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1969. Rapport nr. 5/70 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (94 p.). (With an English summary).
Pytte, R. & Liestö 1966	61, O :	Glasio-hydrologiske undersökelser i Norge 1965. Års- rapport fra Brekontoret, Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. (92 p. + kartbilag). (With an English summary).
Tvede, A. 1971	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1970. Rapport nr. 2/71 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (111 p.). (With an English summary).
1972	:	En glasio-klimatisk undersökelse av Folgefonni. Hoved- fagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Upubl. (109 p.).
1973	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1971. Rapport nr. 2/73 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (110 p.). (With an English summary).

Tvede, A.			
197	4a	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1972. Rapport nr. $1/74$ fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (99 p.). (With an English summary).
197	4b	:	Volumendringer på breer i Sör-Norge, 1962-1973. Vannet i Norden, IHD-nytt, nr. 4/74, p. 35-43.
Ziegler, T 197	• 4	:	Materialtransportundersökelser i norske breelver 1972. Rapport nr. 2/74 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (95 p.). (With an English summary).
Östrem, G 196	. & Ka 2	rlen, :	V. Nigardsbreens hydrologi. <u>Norsk Geogr. Tidsskr. 18</u> (1961-62), p. 156-202. (With an English summary).
Östrem, G 196	. & Lie 4	estöl, :	O. Glasiologiske undersökelser i Norge 1963. <u>Norsk Geogr.</u> <u>Tidsskr. 18</u> (1961-62), p. 281-340. (With an English summary).
Östrem, G 196	. & Py 8	tte, R :	Glasiologiske undersökelser i Norge 1967. Rapport nr. 4/68 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (131 p.). (With an English summary).
Östrem, G 196	. & Sta 9	inley, :	A. Glacier mass balance measurements. A guide prepared jointly by the Canadian Dept. of Energy, Mines and Re- sources and the Norwegian Water Resources and Elec- tricity Board (128 p.).